

BAB 2. KAJIAN PUSTAKA DAN KERANGKA BERFIKIR

2.1. Pengelolaan Sumberdaya Lahan Pertanian Berkelanjutan

Pemerintah telah mengeluarkan kebijakan terkait pelaksanaan pembangunan yang menegaskan bahwa sumber daya alam dapat dimanfaatkan sebagai aset pembangunan untuk mewujudkan kesejahteraan nasional secara berkelanjutan dalam jangka panjang (Wijaya, 2024). Namun pada praktiknya, pembangunan sering kali mengabaikan prinsip-prinsip tersebut, sehingga berdampak pada kerusakan sumber daya alam dan timbulnya bencana, seperti menurunnya produktivitas lahan, banjir di musim hujan, kekeringan saat kemarau, erosi, hingga tanah longsor.

Kondisi ini mencerminkan ketimpangan antara penggunaan dan pelestarian sumber daya lahan (SDL). Untuk mencapai keseimbangan antara pemanfaatan dan kelestariannya, perlu diterapkan konsep dasar konservasi SDL yang mencakup pemanfaatan lahan sesuai dengan daya dukungnya, pencegahan degradasi, rehabilitasi lahan rusak, serta pemeliharaan dan peningkatan produktivitas secara berkelanjutan (Vadari *et al.*, 2004).

2.2. Erosi

Erosi adalah proses alami di mana tanah atau sebagian partikelnya dipindahkan dari satu tempat ke tempat lain oleh agen alam. Menurut Arsyad (2010), erosi melibatkan pengikisan tanah dari lokasi asal, pengangkutanannya, lalu pengendapan di lokasi yang berbeda. Proses ini berlangsung melalui tiga tahapan utama: penghancuran partikel tanah, pemindahan oleh media seperti air atau angin, dan akhirnya pengendapan di area yang lebih rendah atau berbeda dari lokasi semula. Proses pengikisan, pengangkutan, dan pemindahan tanah dilakukan oleh media alami, yaitu air dan angin. Erosi terjadi melalui tahapan penghancuran, pengangkutan, dan pengendapan tanah (Yhudistira, 2018).

Di alam terdapat dua penyebab utama yang aktif dalam proses ini yakni angin dan air. Pada daerah iklim tropik basah seperti Indonesia, air merupakan penyebab utama terjadinya erosi, sedangkan angin tidak mempunyai pengaruh berarti (Arsyad, 2010). Rachman (2018) berpendapat bahwa erosi adalah proses kerja fisik yang keseluruhan prosesnya menggunakan energi. Energi ini digunakan untuk menghancurkan agregat tanah (*detachment*), memercikkan partikel tanah (*splash*), menyebabkan gejolak (*turbulence*) pada limpasan permukaan, serta menghanyutkan partikel tanah.

Erosi tanah (*soil erosion*) berlangsung dalam dua tahap utama, yaitu pelepasan partikel tanah dari massa tanah asal (*detachment*) dan pemindahan partikel yang telah terlepas tersebut (*transport*). Proses ini umumnya dipicu oleh hujan (*rainfall*) dan aliran air permukaan (*runoff*), serta dipengaruhi oleh sejumlah faktor, antara lain intensitas, diameter, durasi, dan jumlah curah hujan; sifat fisik tanah; kondisi penutupan lahan (vegetasi atau tutupan lahan); kemiringan dan panjang lereng; serta faktor-faktor lain yang berperan dalam mempercepat atau memperlambat terjadinya erosi (Wischmeier & Smith, 1978). Faktor-faktor tersebut saling berinteraksi secara simultan dalam mempengaruhi terjadinya erosi (Banuwa, 2008).

Menurut Guan *et al.* (2016), proses erosi berlangsung melalui tiga tahapan utama: (i) *detachment*, yaitu pemisahan partikel tanah dari struktur agregatnya; (ii) *transportation*, yaitu perpindahan partikel tanah oleh aliran air hujan atau limpasan permukaan; dan (iii) *sedimentation*, yakni pengendapan partikel yang telah tererosi. Partikel-partikel tanah yang terbawa ini umumnya akan mengendap di area yang lebih rendah atau di cekungan-cekungan. Sementara itu, Banuwa *et al.* (2008), menekankan bahwa kehilangan tanah hanya terjadi apabila proses pelepasan dan pengangkutan berlangsung bersamaan. Tanpa pemisahan partikel tanah, tidak akan terjadi erosi, dan tanpa adanya perpindahan, laju erosi sangat kecil. Kedua proses ini terdiri atas empat sub-komponen: (1) pelepasan partikel oleh curah hujan, (2) pengangkutan partikel oleh curah hujan, (3) erosi oleh limpasan permukaan, dan (4) pengangkutan oleh limpasan permukaan. Ketika butiran hujan jatuh ke tanah, partikel dengan berbagai ukuran akan terlempar ke segala arah (*splash*), memicu pemisahan dan perpindahan partikel. Jika air hujan seluruhnya meresap ke dalam tanah dan tidak terjadi limpasan, maka partikel tersebut hanya akan mengendap di permukaan. Sebaliknya, jika terjadi aliran permukaan, partikel yang sudah terendapkan akan terbawa mengikuti lereng ke arah bawah.

Hujan dengan *drop size* (ukuran butir-butir hujan) dengan *kinetic energy* dan massanya akan memukul agregat tanah sehingga hancur menjadi partikel-partikel tanah; dan dengan mudah akan dibawa oleh limpasan hujan ke tempat-tempat yang lebih rendah (*sedimentation*). Besar dan kecepatan limpasan hujan sangat tergantung dari kemiringan tanah dan kapasitas infiltrasi (Bafdal *et al.*, 2020). Rachman (2018) menyatakan bahwa erosi adalah proses pemindahan tanah atau bagian-bagiannya dari satu tempat ke tempat lain melalui pengikisan dan penghancuran yang dilakukan oleh air atau angin. Kehilangan

tanah pada suatu lokasi terhubung langsung dengan jumlah tanah yang terangkut dari tempat tersebut. Di kawasan beriklim basah seperti Indonesia, faktor utama penyebab erosi adalah air, yang dipengaruhi oleh aktivitas dispersi dari butir-butir hujan yang disertai limpasan permukaan. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat erosi (E) meliputi iklim (i), kondisi topografi atau lereng (r), jenis dan kondisi vegetasi (v), karakteristik tanah (t), serta intervensi manusia (m), yang dapat dipahami melalui persamaan $E = f(i, r, v, t, m)$. Manik (2003) berpendapat bahwa dari faktor-faktor tersebut, manusia dapat mengubah beberapa elemen seperti jenis vegetasi, karakteristik tanah yang terkait dengan ketahanan terhadap erosi dan kemampuan infiltrasi, serta panjang lereng, sedangkan iklim, tipe tanah, dan kecuraman lereng lebih sulit untuk dimodifikasi. Erosi tanah menimbulkan dua jenis dampak, yaitu dampak internal yang berupa penurunan kesuburan tanah dan produktivitasnya, serta dampak eksternal berupa pencemaran air dan sedimentasi, yang dapat menyebabkan pendangkalan pada sungai, waduk, dan danau. Erosi internal terjadi saat partikel tanah terperangkap di dalam pori-pori tanah, membuatnya kurang dapat menyerap air dan udara. Walaupun jenis erosi ini tidak mengakibatkan kerusakan besar, namun ia mengurangi kapasitas tanah dalam menyerap air, yang pada gilirannya meningkatkan limpasan permukaan dan memicu terjadinya erosi lembar atau erosi alur (Nisa & Susanto, 2022).

Konservasi tanah dimaknai sebagai upaya menempatkan suatu lahan pada jenis pemanfaatan yang sesuai dengan karakteristik dan persyaratan agar lahan tersebut tidak mengalami kerusakan (Arsyad, 1989). Konservasi tidak berarti melarang atau menunda pemanfaatan tanah, melainkan menyesuaikan penggunaan lahan dengan daya dukung dan kemampuannya, serta memberikan perlakuan yang sesuai agar tanah dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan. Tindakan apapun yang diterapkan pada suatu lahan akan memengaruhi keseimbangan tata air, sehingga kegiatan konservasi tanah pada dasarnya juga termasuk dalam upaya pelestarian air (Sabarnurdin *et al.*, 2004).

2.3. Faktor Yang Mempengaruhi Erosi

Erosi tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling berinteraksi dan menentukan besarnya kehilangan tanah dari suatu lahan. Untuk memahami proses erosi secara menyeluruh, perlu dikaji masing-masing faktor utama yang berperan dalam mempercepat atau menahan laju erosi. Faktor-faktor tersebut meliputi karakteristik hujan sebagai

penyebab utama erosi, sifat fisik tanah, kondisi topografi, penutupan lahan oleh vegetasi, serta aktivitas manusia dan upaya konservasi yang diterapkan.

2.3.1. Faktor Erosivitas Hujan

Unsur iklim yang paling berpengaruh terhadap proses erosi tanah adalah curah hujan, suhu udara, dan temperatur. Dari ketiganya, hujan dianggap sebagai faktor dominan. Hujan berperan dalam proses erosi melalui energi kinetik yang dihasilkan dari tumbukan tetesan hujan ke permukaan tanah, serta melalui kontribusinya terhadap terbentuknya limpasan. Beberapa ciri hujan yang memengaruhi tingkat erosi antara lain volume atau kedalaman curah hujan, intensitas, dan durasi terjadinya hujan.

Curah hujan dalam jumlah besar belum tentu mengakibatkan erosi yang parah apabila intensitasnya rendah. Sebaliknya, hujan deras dalam waktu singkat bisa menghasilkan erosi ringan jika total curah hujannya kecil. Namun, jika baik jumlah maupun intensitas hujan tinggi, maka risiko erosi tanah akan meningkat secara signifikan (Suripin, 2004).

2.3.2. Faktor Tanah

Tingkat kerentanan tanah terhadap daya rusak dan daya angkut air hujan dikenal dengan istilah *erodibilitas*. Tanah dengan *erodibilitas* tinggi menunjukkan bahwa tanah tersebut mudah mengalami erosi, sedangkan tanah dengan *erodibilitas* rendah menunjukkan bahwa tanah memiliki ketahanan yang kuat terhadap proses erosi. Setiap jenis tanah memiliki tingkat kepekaan terhadap erosi yang bervariasi, tergantung pada karakteristik fisik dan kimianya (Kartasaputra, 2012).

Sebagian besar jenis tanah di Indonesia didominasi oleh tanah berordo *inceptisol*, yaitu tanah yang terbentuk dari hasil proses vulkanik. Jenis tanah ini termasuk dalam kategori tanah terbesar kedua secara global berdasarkan klasifikasi dunia. *Inceptisol* berasal dari bahasa latin yang konotasinya adalah tanah muda. Golongan tanah ini memberikan daya dukung lingkungan yang lebih baik untuk dijadikan lahan-lahan pertanian dan rerumputan. *Inceptisol* meliputi 15,7% dari seluruh golongan tanah. Namun demikian, golongan tanah ini mengambil peranan kecil dalam hubungannya dengan produksi bahan makanan dunia. Salah satu kumpulan (sub- order) dari *Inceptisol* adalah *Andept*, *Ando* + *Inceptisol*, dari kata *Ando*. Menyerupai *Ando* (Mousavi *et al.*, 2017)

Alviyanti (2006), mengatakan bahwa tanah *andosol* berasal dari material abu vulkanik muda yang memiliki kandungan bahan organik tinggi. Lapisan atas tanah ini bertekstur *pasir berlempung* hingga *berlempung*, sedangkan lapisan bawahnya bertekstur *lempung berliat*. Tanah ini memiliki sifat *thixotropi*, sangat berpori, serta bersolum dalam, yang membuat kemampuan infiltrasi dan perkolasinya tergolong tinggi. Berdasarkan karakteristik tersebut, hasil pengukuran erodibilitas menggunakan *nomograph* menunjukkan bahwa nilai indeks erodibilitas *andosol* berkisar antara 0,10 hingga 0,25. Mengacu pada klasifikasi kelas erodibilitas menurut Utomo (1985), *andosol* termasuk dalam kategori tanah dengan tingkat erodibilitas *sangat rendah hingga sedang*, sehingga cukup resisten terhadap erosi akibat tumbukan air hujan maupun kikisan limpasan permukaan. Namun demikian, karena tanah *andosol* umumnya memiliki sifat *thixotropic*, saat jenuh oleh air—terutama saat curah hujan sangat tinggi—tanah ini rentan mengalami erosi massa seperti *creep* dan *slip erosion*. Hal ini juga berkaitan dengan tingkat perkembangan tanah yang masih berada pada kategori *lemah hingga sedang*.

Andosol merupakan jenis tanah yang tergolong masih muda jika dibandingkan dengan *latosol*, di mana karakteristiknya sangat dipengaruhi oleh keberadaan mineral liat amorf seperti *alofan*. Karena kandungan mineral liat dominan tersebut, *andosol* menunjukkan sifat *thixotropic*, memiliki daya serap air yang tinggi, porositas yang besar, bobot isi yang rendah, struktur tanah yang gembur, serta tidak plastis maupun lengket. Selain itu, tanah ini juga memiliki kemampuan yang tinggi dalam memfiksasi unsur fosfat (Muslim & Mulyani, 2019).

Kepekaan erosi tanah adalah mudah tidaknya tanah tererosi yang merupakan fungsi dari berbagai interaksi sifat-sifat fisika dan kimia tanah. Sifat-sifat tanah yang mempengaruhi kepekaan erosi adalah (1) sifat-sifat tanah yang mempengaruhi laju infiltrasi; (2) sifat-sifat tanah yang mempengaruhi ketahanan struktur tanah terhadap dispersi dan pengikisan oleh butir-butir hujan yang jatuh dan limpasan permukaan (Suripin, 2001).

Menurut Arsyad (2010), sejumlah karakteristik tanah yang memengaruhi tingkat erosi antara lain meliputi tekstur, struktur tanah, kandungan bahan organik, kedalaman efektif tanah, sifat horizon tanah, serta tingkat kesuburannya. Sementara itu, tingkat kerentanan tanah terhadap erosi, yakni sejauh mana tanah mudah tererosi ditentukan oleh sifat-sifat fisik tanah. Tekstur tanah sendiri merujuk pada ukuran dan perbandingan fraksi

butiran mineral primer yang menyusun tanah. Tanah dengan tekstur kasar seperti pasir atau pasir berbatu memiliki kemampuan infiltrasi yang tinggi, dan jika kedalamannya mencukupi, potensi erosi cenderung kecil. Tanah bertekstur pasir halus juga menunjukkan infiltrasi yang baik, namun apabila terjadi limpasan, partikel halus mudah terbawa air. Sementara itu, tanah dengan kandungan liat yang tinggi berisiko mengalami suspensi oleh tetesan hujan, dan partikel liat ini dapat menyumbat pori-pori pada lapisan permukaan tanah.

Struktur tanah menggambarkan cara partikel-partikel tanah tersusun. Secara umum, struktur tanah terbagi menjadi dua jenis, yaitu struktur makro dan struktur mikro. Struktur makro merujuk pada susunan antar agregat tanah, sementara struktur mikro mengacu pada pengaturan butir-butir primer seperti pasir, lempung, dan liat yang membentuk partikel sekunder yang dikenal sebagai *peds* atau agregat (Suripin, 2004).

Sisa-sisa organik seperti daun dan ranting yang masih utuh dan menutupi permukaan tanah berperan sebagai pelindung terhadap benturan langsung tetesan hujan. Sementara itu, bahan organik yang mulai terdekomposisi memiliki kapasitas tinggi dalam menyerap serta menahan air. Kemampuan bahan organik dalam menyerap air bahkan dapat mencapai dua hingga tiga kali bobotnya sendiri. Meski demikian, daya serap ini hanya memberikan kontribusi kecil terhadap pengurangan limpasan permukaan. Peran utama bahan organik dalam menekan aliran permukaan justru terletak pada kemampuannya memperlambat laju air, meningkatkan daya infiltrasi, dan memperkuat struktur agregat tanah (Arsyad, 2010).

Tanah yang memiliki kedalaman cukup dan sifat permeabel cenderung lebih tahan terhadap erosi dibandingkan tanah yang juga permeabel tetapi memiliki lapisan dangkal. Kedalaman tanah hingga mencapai lapisan kedap air sangat berpengaruh terhadap kapasitas tanah dalam menyerap air, yang pada akhirnya akan menentukan volume limpasan permukaan yang terbentuk (Arsyad, 2010). Permeabilitas pada lapisan bawah tanah merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi tingkat kerentanan tanah terhadap erosi. Tingkat permeabilitas ini sendiri dipengaruhi oleh tekstur serta struktur tanah. Tanah dengan lapisan bawah yang memiliki struktur granular dan bersifat permeabel umumnya lebih tahan terhadap erosi dibandingkan dengan tanah yang lapisannya padatnya dan memiliki permeabilitas rendah (Arsyad, 2010).

Kerentanan tanah terhadap erosi seharusnya mencerminkan gabungan dari seluruh karakteristik fisik tanah itu sendiri, tanpa dipengaruhi oleh faktor-faktor eksternal lain yang menjadi penyebab terjadinya erosi. Menurut Hudson *et al.* (2019), Kepekaan terhadap erosi diartikan sebagai tingkat kemudahan suatu tanah mengalami atau menolak proses erosi, sedangkan menurut Arsyad (2010), Kepekaan erosi tanah merupakan ukuran tingkat erosi yang terjadi per satuan indeks erosi hujan pada kondisi tanah yang dianggap standar. Nilai ini menggambarkan jumlah erosi dalam satuan ton per hektar per tahun untuk setiap unit indeks hujan erosif, pada lahan dengan kondisi baku. Kondisi standar tersebut merujuk pada tanah yang tidak ditutupi vegetasi, berada di kemiringan 9%, memiliki bentuk lereng seragam, dan panjang lereng sekitar 72,6 kaki atau setara dengan 22 meter.

2.3.3. Faktor Topografi

Kemiringan lereng dapat dinyatakan dalam satuan persen maupun derajat. Sebagai contoh, jika dua titik memiliki perbedaan elevasi 10 meter dalam jarak horizontal 100 meter, maka lereng tersebut memiliki kemiringan 10%. Lereng dengan kemiringan 100% setara dengan sudut kemiringan 45°. Selain meningkatkan volume limpasan permukaan, kemiringan yang semakin curam juga menyebabkan kecepatan aliran bertambah, sehingga energi angkut air meningkat. Ketika lereng semakin terjal, jumlah partikel tanah yang terpental ke atas akibat benturan butir hujan pun akan bertambah. Jika kemiringan suatu lereng menjadi dua kali lebih curam, maka erosi yang terjadi dapat meningkat sekitar 2 hingga 2,5 kali lipat (Banuwa *et al.*, 2008).

Kemiringan lahan berpengaruh terhadap perbandingan antara infiltrasi dan limpasan permukaan, serta memengaruhi kecepatan aliran air di permukaan tanah. Pada lereng yang curam dan tidak memiliki struktur penghambat seperti gelombang atau tanggul, air hujan cenderung mengalir dengan sangat cepat menuju bagian bawah. Hal ini menyebabkan meningkatnya energi tumbukan air terhadap permukaan tanah, sehingga partikel tanah mudah terlepas dan terbawa aliran ke tempat yang lebih rendah. Semakin besar sudut kemiringan lereng, maka potensi terjadinya erosi pun semakin tinggi. Sebaliknya, pada lereng yang tidak terlalu curam, laju aliran permukaan cenderung lebih lambat. Apabila permukaan tanah bergelombang, aliran air akan semakin terhambat,

memberikan waktu yang lebih besar bagi air untuk meresap ke dalam tanah dan mengurangi limpasan permukaan.

Nilai panjang dan kemiringan lereng diperoleh dari hasil pengukuran di lapangan atau dari atribut peta lereng. Dalam penelitian ini faktor tersebut diukur dari peta lereng dengan sumber peta dari Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BP DAS) Citarum-Ciliwung, kemudian dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak ArcView GIS 3.3 untuk menentukan nilai panjang lerengnya. Penentuan faktor panjang dan kemiringan lereng (LS) selanjutnya dihitung dengan menggunakan persamaan Wischmeier dan Smith dalam Arsyad (1989), sebagai berikut:

$$LS = \sqrt{X (0,0138 + 0,00965 s + 0,00138 s^2)} \dots\dots\dots (2.1)$$

di mana:

LS : faktor lereng

X : panjang lereng (m)

S : kemiringan lereng (%)

2.3.4. Faktor Vegetasi

Keberadaan vegetasi di atas permukaan tanah sangat berpengaruh terhadap laju terjadinya erosi. Vegetasi memiliki sejumlah fungsi penting dalam menekan erosi, di antaranya:

- a. Mencegah hantaman langsung tetesan hujan ke permukaan tanah, sehingga kerusakan akibat air hujan dapat diminimalkan.
- b. Menurunkan kecepatan aliran permukaan yang terjadi setelah hujan.
- c. Mengurangi kekuatan limpasan dalam menyeret partikel tanah.
- d. Meningkatkan aktivitas organisme tanah yang dapat memperbaiki kondisi fisik dan kimia tanah; keberadaan akar tanaman juga membantu meningkatkan daya serap air ke dalam tanah (infiltrasi), sehingga limpasan pun berkurang.
- e. Menyumbang bahan organik ke dalam tanah, yang pada akhirnya memperkuat ketahanan tanah terhadap proses erosi (Sutedjo & Kartasapoetra, 2005).

Pola penanaman dan jenis tanaman yang dibudidayakan berpengaruh besar terhadap erosi dan limpasan permukaan karena memengaruhi penutupan tanah dan produksi bahan organik. **Tabel 2.1** menunjukkan bagaimana jenis tanaman tertentu dapat membantu mengurangi erosi dan limpasan, memperjelas pentingnya pemilihan tanaman yang tepat untuk menjaga kestabilan tanah.

Tabel 2.1. Pengaruh tanaman terhadap erosi dan limpasan permukaan
(Abujamin dan Suwardjo, 1979)

Perlakuan	Erosi (ton. ha ⁻¹)	Limpasan Permukaan (mm)
Kacang	23,3	22,90
Jagung	14,76	29,4
Tanah terbuka	95,54	30,7

2.3.5. Faktor Manusia atau Tindakan Konservasi (P)

Aktivitas manusia dianggap sebagai salah satu penyebab utama yang mempercepat dan memperparah proses erosi tanah. Sebagian besar aktivitas ini berkaitan dengan perubahan pada elemen-elemen yang memengaruhi erosi, seperti hilangnya tutupan vegetasi akibat penebangan hutan untuk keperluan pemukiman, pertanian, atau padang penggembalaan. Campur tangan manusia sering kali mengganggu keseimbangan alami antara proses pembentukan tanah dan laju erosi yang terjadi. Meski demikian, manusia juga memiliki peluang untuk mencegah dan mengendalikan erosi melalui upaya konservasi tanah, seperti penanaman kembali tanaman (reboisasi), pembuatan terasering, dan teknik konservasi lainnya.

Dalam merancang upaya konservasi tanah dan air, diperlukan ketersediaan data dan informasi yang relevan, salah satunya adalah informasi mengenai tingkat potensi bahaya erosi, yang dapat diperoleh melalui kegiatan prediksi erosi. Erosi memang tidak bisa dihilangkan sepenuhnya, bahkan pada sistem pertanian berkelanjutan sekalipun. Namun, laju erosi masih dapat dikendalikan agar tetap berada di bawah ambang batas yang diperbolehkan. Estimasi batas toleransi erosi untuk berbagai jenis tanah dapat dilakukan dengan memperhatikan karakteristik tanah dan batuan induknya. Untuk menilai efektivitas pengendalian erosi pada suatu lahan pertanian, diperlukan data aktual mengenai laju erosi yang terjadi di lahan tersebut. Mengendalikan erosi berarti meminimalkan pengaruh faktor-faktor penyebabnya sehingga proses erosi bisa melambat atau berkurang. Langkah-langkah pengendalian meliputi peredaman energi kinetik tetesan hujan, pengurangan kekuatan limpasan dalam mengikis tanah, menurunkan volume air limpasan, memperlambat alirannya, serta memperbaiki sifat-sifat tanah yang rentan terhadap erosi. Berbagai teknik konservasi yang telah dikembangkan umumnya merupakan kombinasi dari strategi-strategi tersebut (Ridiah, 2010).

2.4. Tanaman Hortikultura

Istilah *hortikultura* berasal dari bahasa Latin, yakni *hortus* yang berarti kebun, dan *colere* yang berarti menanam atau membudidayakan. Secara literal, hortikultura dapat diartikan sebagai ilmu yang mempelajari cara membudidayakan tanaman di lahan pekarangan atau kebun. Hortikultura merupakan salah satu cabang ilmu pertanian yang fokus pada budidaya intensif berbagai jenis tanaman, terutama yang digunakan untuk konsumsi manusia, pengobatan, serta pemenuhan kebutuhan gizi. Disiplin ini menggabungkan unsur ilmu pengetahuan, keterampilan, dan teknologi dalam pengelolaan tanaman sayuran, buah-buahan, tanaman hias, rempah-rempah, serta tumbuhan berkhasiat obat. Budidaya tanaman hortikultura kini menjadi komoditas yang bernilai ekonomi tinggi, seiring dengan pertumbuhan ekonomi yang mendorong peningkatan daya beli masyarakat (Zulkarnain, 2009).

Dalam upaya memahami lebih lanjut dampak erosi di wilayah pegunungan Dieng, penelitian yang dilakukan di Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo, memfokuskan percobaan pada dua jenis tanaman hortikultura utama, yakni kentang dan bawang merah. Kedua tanaman ini dipilih karena merupakan komoditas utama di daerah tersebut dan sering ditanam di lahan dengan kemiringan curam yang rentan terhadap erosi.

Penanaman kentang dilakukan di lahan dengan kemiringan sedang hingga curam, karena tanaman ini membutuhkan tanah gembur yang dapat menyerap air dengan baik, namun juga menghadirkan risiko erosi yang signifikan saat hujan deras. Sedangkan bawang merah, yang ditanam di lahan dengan kemiringan lebih rendah, memerlukan perhatian khusus dalam sistem irigasi dan drainase untuk mencegah aliran permukaan yang dapat menyebabkan tanah terkikis.

2.4.1. Tanaman Kentang

Kentang (*Solanum tuberosum* L.) Termasuk dalam jenis sayuran musiman dengan siklus hidup singkat, yakni sekitar 90 hingga 180 hari, dan tumbuh dalam bentuk semak atau perdu. Lama pertumbuhannya dapat berbeda tergantung pada varietasnya (Samadi, 1997). Daun pada tanaman kentang umumnya tumbuh lebat dan memiliki struktur majemuk yang tersusun menyirip ganjil, terdiri atas anak daun primer dan sekunder yang tersusun berhadapan pada tangkai daun. Helaian daunnya berbentuk oval hingga bulat lonjong dengan ujung yang meruncing. Sudut antara tangkai utama daun dan batang tanaman dapat bervariasi, yakni kurang dari atau lebih dari 45°. Di bagian pangkal tangkai daun

terdapat tunas aksilar yang berpotensi tumbuh menjadi cabang sekunder (Rukmana, 1997). *Morfologi* batang tanaman bervariasi, dapat berbentuk segi empat maupun segi lima, bergantung pada karakteristik varietasnya. Batang terdiri atas ruas-ruas atau buku-buku, bersifat tidak berkayu dan berongga, namun cukup keras saat disentuh. Diameter batang relatif kecil, sementara tinggi tanaman berkisar antara 50 hingga 120 cm. Pola pertumbuhannya menunjukkan kecenderungan untuk merambat (Rukmana, 1997). Sistem perakaran pada tanaman kentang terdiri atas dua tipe, yaitu akar tunggang dan akar serabut. Akar tunggang tumbuh secara vertikal menembus tanah hingga kedalaman kurang lebih 45 cm, sementara akar serabut menyebar secara horizontal pada lapisan tanah bagian atas. Sebagian akar mengalami modifikasi morfologi dan fisiologi, membentuk stolon yang selanjutnya akan berkembang menjadi umbi kentang (Samadi, 1997). Bunga pada tanaman kentang bersifat *hermaprodit*, yakni mengandung organ reproduksi jantan dan betina dalam satu individu, serta tersusun dalam bentuk *infloresensia* atau tandan. Struktur morfologis setiap bunga terdiri atas lima kelopak (*calyx*), lima mahkota (*corolla*), lima benang sari (*stamen*), dan satu putik sebagai organ betina. Mekanisme penyerbukannya dapat berlangsung secara *autogami* (penyerbukan sendiri) maupun melalui *alogami* (penyerbukan silang) (Rukmana, 1997). Umbi kentang berkembang dari cabang lateral yang tumbuh di antara akar-akar tanaman. Pembentukan umbi dimulai ketika pertumbuhan memanjang dari *stolon* atau *rhizome* berhenti, kemudian diikuti dengan proses pembengkakan yang menyebabkan bagian tersebut membesar. Umbi berperan sebagai tempat penyimpanan cadangan nutrisi, termasuk karbohidrat, protein, lemak, vitamin, mineral, serta air (Samadi, 1997).

Kentang (*Solanum tuberosum* L.) merupakan tanaman sayuran semusim yang berumur pendek, antara 90–180 hari, berbentuk perdu atau semak, dan memiliki variasi berdasarkan jenis varietasnya. Bagian tanaman kentang meliputi daun, batang, akar, dan umbi yang memiliki karakteristik khusus yang memengaruhi cara tumbuh serta cara budidaya.

1) Syarat Tumbuh

Tanaman kentang memerlukan kondisi lingkungan yang mendukung, meliputi iklim, suhu, dan intensitas sinar matahari. Kondisi suhu yang sejuk dan pencahayaan yang cukup sangat memengaruhi proses fotosintesis dan pertumbuhan daun (Sharma *et al.*, 2016). Tanaman ini tumbuh baik pada suhu 15-25°C dan kelembaban nisbi sekitar 80-90%. Kentang cocok ditanam di dataran tinggi dengan ketinggian 700–2.000 m di atas permukaan laut, di mana curah hujan yang optimal berkisar antara 1.000–1.500 mm per tahun (Rukmana, 1997).

2) Tanah

Tanaman kentang memerlukan tanah yang gembur, berdrainase baik, dan memiliki tingkat keasaman netral hingga sedikit asam (pH 5,5–6,5). Tanah yang kaya bahan organik sangat membantu pertumbuhan dan pembentukan umbi. Penambahan pupuk organik dianjurkan untuk menjaga kesuburan tanah, sementara struktur tanah yang baik akan mendukung perkembangan sistem perakaran serta mencegah erosi tanah pada lahan miring (Samadi, 1997).

3) Penyiapan Benih

Kentang ditanam menggunakan umbi sebagai benih. Umbi yang dipilih untuk benih harus memiliki kualitas baik, yaitu bebas dari hama dan penyakit serta memiliki mata tunas yang sehat. Ukuran benih umbi kentang umumnya sekitar 30-50 gram per umbi, dengan kebutuhan benih berkisar antara 1.500-2.000 kg per hektar. Sebelum ditanam, umbi dipotong dan dibiarkan selama beberapa hari untuk menghindari pembusukan saat ditanam (Haverkort & Verhagen, 2008).

4) Penyiapan Lahan

Pengolahan tanah dilakukan dengan menggemburkan tanah melalui proses pembajakan dan pencangkulan hingga kedalaman 20-30 cm. Pembuatan bedengan dengan lebar 1 meter dan tinggi 25 cm sangat dianjurkan, terutama pada lahan miring, untuk mencegah erosi dan menjaga kestabilan kelembaban tanah. Pada lahan dengan pH di bawah 5,6, disarankan untuk menambahkan dolomit untuk meningkatkan ketersediaan unsur hara kalsium dan magnesium (Rukmana, 1997).

5) Penanaman

Penanaman dilakukan dengan memasukkan umbi ke dalam lubang tanam dengan kedalaman 10-15 cm. Jarak tanam yang ideal adalah 60 cm x 30 cm untuk memastikan

ruang yang cukup bagi umbi tumbuh dan berkembang. Setelah penanaman, disarankan untuk melakukan penyiraman secara merata guna menjaga kelembaban tanah. Teknik ini bertujuan untuk mencegah pertumbuhan gulma dan memastikan umbi berkembang secara optimal (Sumarni & Hidayat, 2005).

2.4.1.1. Perakaran Tanaman Kentang dan Potensi Penahan Erosi

Tanaman kentang (*Solanum tuberosum* L.) yang ditanam di dataran tinggi Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo, memiliki sistem perakaran serabut yang dangkal dengan kedalaman akar sekitar 20-30 cm. Akar-akarnya cenderung menyebar secara horizontal, yang membantu memperluas area serapan air dan nutrisi di sekitar tanaman. Meskipun sistem perakaran ini kurang mendalam, penyebaran akar yang luas dapat memberikan kontribusi positif dalam mengurangi laju erosi tanah, terutama pada lereng yang memiliki potensi tinggi terhadap erosi. Akar-akar serabut ini bekerja sebagai pengikat tanah, membantu mempertahankan struktur tanah dan mencegah partikel tanah terbawa oleh air limpasan.

Penelitian oleh Haverkort & Verhagen (2008) menyebutkan bahwa meskipun sistem perakaran kentang tidak sekuat tanaman dengan akar tunggang, dalam kondisi tertentu, terutama pada tanah yang gembur dan kaya bahan organik seperti di daerah penelitian, akar serabut kentang masih memiliki peran penting dalam menstabilkan permukaan tanah. Namun, karena akarnya yang dangkal, tanaman ini memerlukan pengelolaan tanah yang baik, seperti penerapan mulsa atau penanaman tanaman penutup tanah lainnya untuk meminimalkan risiko erosi, terutama selama musim hujan.

2.4.1.2. Daun Tanaman Kentang

Daun tanaman kentang terdiri dari daun majemuk menyirip yang berwarna hijau gelap. Setiap tangkai daun utama terdiri dari beberapa anak daun yang tersusun berhadapan satu sama lain. Di dataran tinggi Kecamatan Kejajar, kondisi suhu yang sejuk dan sinar matahari yang cukup sepanjang hari membantu dalam pembentukan daun yang tebal dan hijau pekat. Menurut Sharma *et al.*, (2016), kondisi lingkungan seperti suhu dan intensitas cahaya sangat mempengaruhi fotosintesis dan pertumbuhan daun pada tanaman kentang. Meski demikian, daun kentang cukup rentan terhadap serangan hama dan penyakit seperti busuk daun (*Phytophthora infestans*), terutama dalam kondisi kelembaban tinggi yang umum terjadi di dataran tinggi (Hijmans *et al.*, 2000).

2.4.2. Tanaman Bawang Merah

Menurut Sumarni & Hidayat (2005), keberhasilan dalam budidaya bawang merah tidak hanya ditentukan oleh pemilihan varietas unggul, tetapi juga memerlukan pemenuhan kondisi tumbuh yang optimal serta penerapan teknik budidaya yang sesuai.

1) Syarat Tumbuh

Beberapa faktor penting yang perlu diperhatikan dalam budidaya bawang merah meliputi kondisi iklim, seperti ketinggian tempat, suhu yang cukup hangat, tiupan angin, curah hujan, intensitas cahaya matahari, dan kelembaban relatif udara. Selain itu, kondisi tanah juga sangat menentukan, baik dari segi sifat fisik maupun kimianya. Bawang merah diketahui lebih menyukai daerah dengan iklim kering. Tanaman ini cukup sensitif terhadap curah hujan tinggi, hujan lebat, serta cuaca berkabut. Tingkat kelembaban relatif yang ideal bagi pertumbuhannya berkisar antara 50–70%.

Umbi bawang dapat mulai terbentuk pada suhu rata-rata sekitar 22°C, namun hasil produksinya lebih rendah dibandingkan dengan daerah yang memiliki suhu lebih tinggi. Pembentukan umbi akan berlangsung lebih baik jika tanaman mendapatkan pencahayaan lebih dari 12 jam setiap hari. Suhu di bawah 22°C akan menghambat pembentukan umbi. Oleh karena itu, tanaman bawang merah lebih sesuai dibudidayakan di wilayah yang cerah dan berada di dataran rendah. Di Indonesia, tanaman ini dapat ditanam mulai dari dataran rendah hingga ketinggian sekitar 1000 meter di atas permukaan laut. Meskipun demikian, ketinggian ideal untuk mendukung pertumbuhan optimal dan hasil panen terbaik adalah antara 0 hingga 450 meter DPL. Pada ketinggian lebih tinggi, bawang merah masih mampu tumbuh dan membentuk umbi, namun waktu tanam menjadi lebih panjang sekitar 0,5 hingga 1 bulan, serta tingkat produktivitasnya cenderung lebih rendah.

2) Tanah

Tanah yang ideal untuk budidaya bawang merah adalah tanah bertekstur sedang hingga liat, memiliki struktur remah, serta sistem drainase dan aerasi yang baik. Kandungan bahan organik yang mencukupi dan tingkat keasaman tanah netral (pH antara 5,6 hingga 6,5) juga penting untuk pertumbuhan optimal. Jenis tanah yang paling sesuai untuk tanaman ini adalah tanah Aluvial, atau kombinasi dengan tanah Glei-Humus maupun Latosol.

Di Pulau Jawa, bawang merah banyak ditanam di tanah aluvial dengan iklim D3/E3, yang memiliki periode basah antara 0–5 bulan dan periode kering antara 4–6

bulan, serta terletak pada ketinggian di bawah 200 meter dari permukaan laut. Selain itu, tanaman ini juga tumbuh subur di tanah Andosol dengan iklim B2/C2, yang mengalami musim basah selama 5–9 bulan dan musim kering 2–4 bulan, di daerah dengan ketinggian lebih dari 500 meter di atas permukaan laut. Waktu yang ideal untuk menanam bawang merah adalah saat musim kemarau, asalkan terdapat sumber air irigasi yang cukup, biasanya pada bulan April atau Mei setelah panen padi, atau pada bulan Juli dan Agustus. Selama musim kemarau, umumnya bawang merah ditanam di lahan bekas sawah atau kebun tebu, sedangkan pada musim hujan, lebih cocok ditanam di lahan kering seperti tegalan. Selain itu, bawang merah dapat ditanam secara tumpangsari dengan tanaman lain, seperti cabai merah. Teknik budidaya ini memberikan keuntungan ganda bagi petani dengan memanfaatkan lahan secara lebih efisien.

3) Penyiapan Benih

Benih yang berkualitas merupakan faktor penting dalam menentukan keberhasilan budidaya pertanian. Untuk bawang merah, benih yang baik harus memenuhi beberapa kriteria, seperti masa simpan yang ideal sekitar 3–4 bulan, umur panen antara 70 hingga 85 hari, serta ukuran umbi benih berkisar 10–15 gram. Jumlah benih yang dibutuhkan per hektar berkisar antara 1000 hingga 1200 kilogram. Ciri fisik benih yang baik meliputi warna merah cerah, tekstur padat, tidak lembek, tidak keropos, dan bebas dari serangan hama maupun penyakit.

Sebelum penanaman, umbi harus dibersihkan. Jika belum muncul tunas, bagian ujung umbi dapat dipotong sepertiga untuk merangsang pertumbuhan tunas lebih cepat. Selain menggunakan umbi sebagai benih, budidaya juga bisa dilakukan dengan biji botani atau *true shallot seed* (TSS). Penggunaan TSS memiliki beberapa keunggulan, di antaranya lebih mudah disimpan, biaya distribusi lebih rendah, kebutuhan benih hanya sekitar 2 kg per hektar, dan berpotensi menghasilkan benih yang bebas dari virus (Wolanski & McLusky, 2011).

4) Penyiapan Lahan

Pengolahan tanah bertujuan utama untuk menciptakan lapisan tanah yang gembur dan sesuai bagi pertumbuhan tanaman bawang merah. Proses ini umumnya dilakukan untuk melonggarkan struktur tanah, memperbaiki sistem drainase dan sirkulasi udara di dalam tanah, meratakan permukaan lahan, serta mengendalikan pertumbuhan gulma. Pada lahan kering, pengolahan dilakukan dengan cara membajak atau mencangkul tanah

sedalam kurang lebih 20 cm, kemudian membentuk bedengan-bedengan dengan lebar sekitar 1,2 meter dan tinggi 25 cm, sedangkan panjang bedengan disesuaikan dengan kondisi dan bentuk lahan yang ada.

Sementara itu, pada lahan bekas sawah atau lahan bekas tebu, bedengan terlebih dahulu dibentuk dengan ukuran lebar 1,75 meter, kedalaman parit antara 50–60 cm, dan lebar parit 40–50 cm, dengan panjang yang disesuaikan berdasarkan kontur dan ukuran lahan. Tanah yang telah digarap biasanya dibiarkan mengering terlebih dahulu, kemudian dilakukan pengolahan ulang sebanyak 2–3 kali hingga tanah menjadi cukup gembur, sebelum akhirnya dilakukan perapihan pada bedengan-bedengan yang telah dibentuk. Seluruh proses, mulai dari pembuatan parit, pencangkulan, hingga tanah siap tanam, umumnya memerlukan waktu sekitar 3 hingga 4 minggu.

Lahan juga harus dibersihkan dari sisa-sisa tanaman padi atau tebu karena dapat menjadi tempat berkembangnya patogen penyebab penyakit, seperti *Fusarium* sp. Pada tahap pengolahan tanah, khususnya untuk lahan yang bersifat masam dengan pH di bawah 5,6, disarankan pemberian kaptan atau dolomit paling tidak dua minggu sebelum penanaman. Dosis yang disarankan berkisar antara 1 hingga 1,5 ton per hektar per tahun, yang cukup efektif untuk dua musim tanam berikutnya. Pemberian dolomit penting untuk meningkatkan ketersediaan unsur hara utama seperti Kalsium (Ca) dan Magnesium (Mg), terutama pada lahan yang masam atau sering digunakan untuk budidaya tanaman hortikultura intensif (Sumarni & Hidayat, 2005). Pengolahan tanah yang tepat dapat meningkatkan kualitas tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal.

5) Penanaman

Setelah tanah dipersiapkan, langkah berikutnya adalah pemberian pupuk dasar. Penanaman umbi dilakukan dengan jarak tanam 20 cm x 15 cm atau 15 cm x 15 cm sesuai rekomendasi Balitsa. Lubang tanam dibuat menggunakan alat penugal dengan kedalaman yang setara dengan tinggi umbi. Umbi bawang merah (*Allium cepa* var. *ascalonicum*) dimasukkan ke dalam lubang dengan gerakan memutar hingga ujung umbi sejajar dengan permukaan tanah. Pemeliharaan kelembaban tanah yang optimal sangat penting untuk mendukung pertumbuhan yang baik dari umbi bawang merah (Sumarni & Hidayat, 2005).

2.4.2.1. Perakaran Tanaman Bawang Merah dan Potensi Penahan Erosi

Tanaman bawang merah (*Allium cepa* L. var. *ascalonicum*) di Kecamatan Kejajar memiliki sistem perakaran serabut yang lebih dangkal dibandingkan kentang, dengan kedalaman akar sekitar 10-20 cm. Akar-akar ini cenderung halus dan rapuh, namun dalam jumlah yang banyak, mereka dapat membentuk jaringan akar yang padat di lapisan atas tanah. Jaringan akar ini dapat membantu mengikat tanah, terutama pada area pertanian di lereng-lereng bukit, sehingga mengurangi risiko erosi permukaan.

Penelitian oleh Shit & Maiti (2012) menunjukkan bahwa meskipun akar bawang merah tidak sekuat tanaman dengan akar yang lebih dalam, keberadaannya dalam jumlah besar dapat memberikan perlindungan terhadap erosi tanah. Akar-akar bawang merah yang rapat dapat memperlambat laju aliran air di permukaan tanah, mengurangi volume air yang berpotensi mengikis lapisan tanah atas. Namun, seperti halnya dengan kentang, karena akarnya yang dangkal, tanaman bawang merah juga memerlukan teknik konservasi tanah yang efektif untuk memastikan tanah tetap stabil, terutama pada musim hujan.

2.4.2.2. Daun Tanaman Bawang Merah

Daun bawang merah berbentuk silindris dan berongga, dengan warna hijau kebiruan. Setiap tanaman biasanya memiliki 6 hingga 10 helai daun yang tumbuh tegak lurus dari pangkal tanaman. Di dataran tinggi Kejajar, suhu yang lebih rendah dan ketersediaan air yang cukup membantu daun bawang merah tumbuh lebih tebal dan kuat, seperti yang dilaporkan oleh (Smith *et al.*, 2007). Daun ini memainkan peran penting dalam proses fotosintesis dan juga sebagai tempat penyimpanan cadangan makanan yang nantinya akan dialirkan ke umbi. Namun, karena kondisi iklim yang lembab di dataran tinggi, daun bawang merah dapat menjadi rentan terhadap serangan hama seperti *thrips* dan penyakit layu, sehingga memerlukan pengelolaan yang cermat untuk menjaga produktivitas tanaman (Gao & Zhao, 2023).

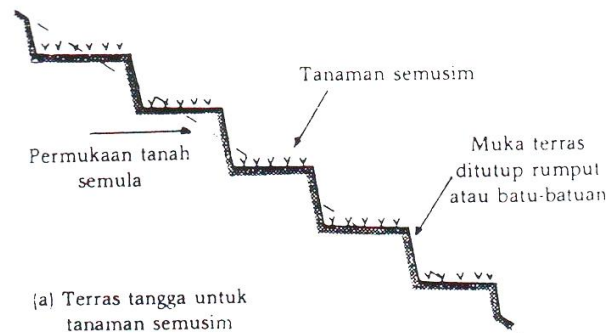
2.5. Teknik Konservasi Lahan

Teknik konservasi lahan merupakan upaya penting dalam mengendalikan erosi, terutama pada lahan miring yang rentan terhadap kehilangan tanah dan degradasi fungsi lahan. Beberapa metode konservasi mekanik telah diterapkan dalam konteks budidaya hortikultura di wilayah dataran tinggi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan lahan

dan mempertahankan produktivitasnya. Dua bentuk konservasi yang umum digunakan adalah teras bangku (bench terrace) dan teras gulud (contour ridges), yang masing-masing memiliki karakteristik dan fungsi spesifik sesuai kondisi topografi dan jenis tanaman yang dibudidayakan

2.5.1. Teras Bangku atau Teras Tangga (*bench terrace*)

Teras bangku (**Gambar 2.1**) atau dikenal juga sebagai teras tangga dibentuk dengan memotong lereng sepanjang kemiringannya dan meratakan bagian bawah potongan tersebut, sehingga terbentuk susunan lahan menyerupai anak tangga. Dalam praktik usaha tani pada lahan kering, teras bangku memiliki beberapa fungsi penting, di antaranya memperlambat laju aliran air permukaan, menampung serta mengalirkan air dengan kekuatan yang tidak menyebabkan kerusakan, meningkatkan kemampuan tanah menyerap air (infiltrasi), serta mempermudah proses pengolahan tanah.



Gambar 2.1. Sketsa teras bangku atau teras tangga (Abdurachman, 2010)

Teras bangku dapat dibentuk dalam tiga variasi: datar (dengan bidang olah sejajar dengan garis horizontal atau membentuk sudut 0°), miring ke dalam (bidang olah memiliki kemiringan beberapa derajat berlawanan arah dengan lereng asli), dan miring ke luar (kemiringan bidang olah searah dengan lereng alami). Teras irigasi merupakan bentuk teras bangku datar yang tidak dilengkapi saluran, dan umumnya diterapkan pada lahan sawah tadah hujan.

Sementara itu, teras bangku miring ke dalam, yang juga dikenal sebagai *goler kampak*, dibangun pada tanah dengan tingkat permeabilitas rendah. Tujuannya adalah menahan air agar tidak segera mengalir keluar melalui talud teras sebelum sempat meresap ke dalam tanah. Namun, pembangunan teras bangku jenis ini memerlukan biaya

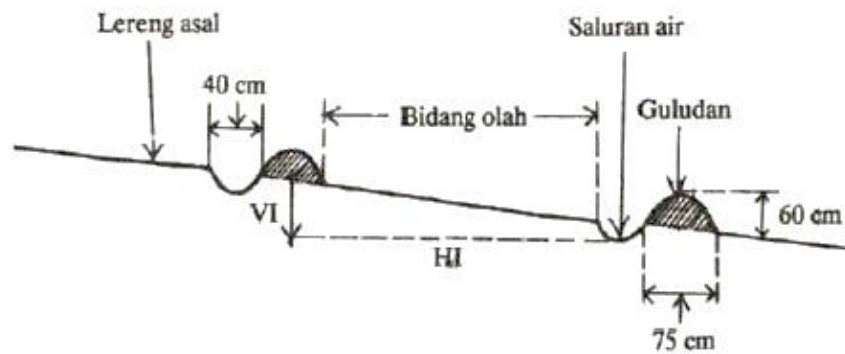
yang lebih tinggi dibandingkan dengan teras datar atau teras miring ke luar, karena proses pengerjaannya membutuhkan volume penggalian tanah yang lebih besar (Abdurachman, 2010).

2.5.2. Teras Gulud (*Contour Ridges* Atau *Ridges Terrace*)

Teras gulud (**Gambar 2.2.**) merupakan deretan guludan yang dilengkapi dengan saluran drainase di bagian belakangnya, sehingga dikenal pula dengan sebutan sistem guludan bersaluran. Struktur utama dari teras gulud meliputi guludan, saluran air, dan area olah tanah. Secara fungsional, teras gulud memiliki kesamaan dengan teras bangku, yakni berperan dalam memperlambat aliran permukaan dan meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah. Saluran air berfungsi mengalirkan limpasan dari area olah menuju saluran pembuangan air (SPA).

Untuk meningkatkan efektivitas sistem ini dalam mengendalikan erosi dan limpasan, serta menjaga kestabilan guludan, disarankan agar guludan diperkuat dengan tanaman penahan teras. Jenis tanaman yang digunakan sebagai penguat pada teras bangku dapat pula dimanfaatkan untuk memperkuat teras gulud. Selain itu, untuk mengompensasi hilangnya area olah, permukaan teras gulud dapat ditanami tanaman bernilai ekonomi, seperti katuk, cabai rawit, atau komoditas cash crop lainnya. Terdapat sejumlah hal penting yang perlu menjadi perhatian dalam proses konstruksi teras gulud, antara lain:

- a. Teras gulud umumnya sesuai diterapkan pada lahan dengan kemiringan antara 10% hingga 40%. Meskipun masih dapat digunakan pada kemiringan antara 40% hingga 60%, efektivitasnya cenderung menurun pada kisaran kemiringan yang lebih curam tersebut.
- b. Pada lahan dengan tingkat permeabilitas tinggi, guludan sebaiknya dibangun sejajar dengan garis kontur. Sebaliknya, pada tanah yang memiliki permeabilitas rendah, guludan perlu disusun sedikit miring dari garis kontur dengan kemiringan maksimum satu persen ke arah saluran pembuangan. Tujuan dari desain ini adalah untuk memastikan bahwa kelebihan air yang tidak cepat meresap ke dalam tanah dapat dialirkan keluar lahan secara perlahan, guna mengurangi risiko erosi akibat aliran permukaan (Abdurachman, 1984).



Gambar 2.2. Sketsa teras gulud (*contour ridges* atau *ridges terrace*) (Abdurachman, 2010)

2.6. Metode Pengukuran Erosi secara Langsung

Dalam literatur berjudul "Beberapa Permasalahan dalam Konservasi Tanah dan Air" (Sarief, 1980), Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengukur tingkat erosi dan limpasan permukaan dengan pendekatan kuantitatif melalui pengamatan langsung terhadap volume tanah yang tererosi dan jumlah limpasan akibat satu kejadian hujan. Pendekatan ini dikenal sebagai Metode Pengukuran Erosi pada Petak Kecil, yang dirancang untuk memperoleh data sebagai berikut :

- Kuantifikasi tingkat kehilangan tanah akibat erosi.
- Evaluasi kontribusi vegetasi terhadap pengendalian erosi.
- Analisis efektivitas penggunaan bahan pemantap tanah (*soil conditioner*).
- Penilaian peran mulsa dalam melindungi permukaan tanah

Observasi lapangan dilakukan dengan menggunakan sistem petak uji (plot) yang memiliki ukuran, kemiringan lereng, panjang lereng, dan jenis tanah yang telah ditentukan. Aliran permukaan beserta sedimen yang keluar dari setiap petak dicatat dan dianalisis. Jumlah petak yang digunakan bergantung pada tujuan pengamatan; untuk satu skenario pengamatan diperlukan setidaknya dua replikasi. Apabila pengamatan mencakup dua jenis tanaman berbeda, maka jumlah minimum petak yang dibutuhkan adalah empat. Sementara itu, jika penelitian juga melibatkan dua jenis tanah yang berbeda, maka jumlah petak minimum meningkat menjadi delapan (Arsyad, 2010). Petak standar umumnya berukuran panjang 22 meter dan lebar 1,8 meter, namun memungkinkan pula untuk dibuat dengan ukuran lain sesuai kebutuhan dan kondisi lapangan.

Pembatas petak dapat dibuat dari bahan logam, kayu, atau material lain yang kedap air dan tahan karat. Tinggi pembatas minimal 15–20 cm di atas permukaan tanah, bertujuan untuk mencegah percikan air dan partikel tanah masuk atau keluar dari petak. Bagian awal pembatas ditanam cukup dalam ke dalam tanah untuk menjamin kestabilan serta meminimalkan kemungkinan rembesan air ke dalam atau ke luar petak. Pada bagian hilir petak, dipasang talang sebagai saluran air menuju bak penampung. Bak penampung tersebut sebaiknya tertutup guna menghindari masuknya air hujan dan percikan tanah secara langsung (Suripin, 2004).

Pendugaan erosi di lapangan melalui penggunaan petak percobaan pada prinsipnya merepresentasikan kondisi alami secara cukup akurat. Namun, metode ini memerlukan sumber daya yang besar, baik dari segi biaya, tenaga, maupun waktu. Selain itu, untuk memperoleh informasi mengenai laju dan volume erosi pada berbagai jenis penggunaan lahan, tipe tanaman, kondisi tanah, serta variasi topografi seperti kemiringan dan panjang lereng, diperlukan investasi yang tinggi, kebutuhan tenaga kerja yang besar, dan waktu pelaksanaan yang cukup panjang (Yhudistira, 2018). Dalam Utomo (1994), pernyataan serupa juga disampaikan bahwa pelaksanaan percobaan lapangan memerlukan biaya yang cukup tinggi dan menuntut ketelitian tinggi agar hasilnya memberikan manfaat yang optimal. Besarnya biaya tidak hanya dialokasikan untuk pembangunan petak erosi, tetapi juga untuk penyediaan sarana pendukung seperti stasiun iklim. Agar data yang dihasilkan memiliki validitas yang kuat, perlu diperhatikan aspek-aspek seperti ukuran petak uji, batas petak, alat pengumpul hasil erosi, serta ketepatan dalam pengamatan.

2.7. Metode MUSLE

MUSLE, yang merupakan singkatan dari *Modified Universal Soil Loss Equation*, adalah sebuah pengembangan dari persamaan USLE yang dapat memperkirakan tingkat erosi dan sedimentasi dengan tingkat keakuratan yang cukup baik. MUSLE didasarkan pada aliran hujan-hasil sebagai dasar persamaan tersebut. Berbeda dengan USLE, MUSLE tidak menggunakan faktor energi hujan sebagai penyebab terjadinya erosi, melainkan menggantinya dengan faktor limpasan permukaan. Oleh karena itu, MUSLE tidak memerlukan faktor *Delivery Ratio Sedimen* (DRS) karena faktor limpasan permukaan mencerminkan energi yang digunakan dalam proses penghancuran dan pengangkutan

sedimen. Salah satu kelebihan metode ini adalah kemudahan dalam pengelolaannya, serta penggunaannya yang luas di seluruh dunia. Selain itu, MUSLE relatif sederhana dan membutuhkan jumlah parameter input yang lebih sedikit dibandingkan dengan model lainnya. Dalam penelitian ini, untuk memprediksi erosi dan sedimentasi, metode MUSLE akan digunakan dengan bantuan GIS (*Geographic Information System*) yang memudahkan dalam mengevaluasi kondisi penggunaan lahan di lokasi penelitian (Sihaloho *et al.* 2020; Gomez *et al.* 2015; Chu *et al.*, 2006)

Penilaian tingkat bahaya erosi pada prinsipnya dapat dilakukan melalui perhitungan rasio antara laju erosi potensial (Ea) dengan laju erosi yang masih dapat diterima atau ditoleransi (TSL). Secara matematis, hubungan ini dapat dinyatakan dengan persamaan 2.2 (Abdurachman & Setiani, 2008).

$$TBE = \frac{Ea \text{ ton/ha/3 bln.}}{TSL \text{ ton/ha/3 bln.}} \quad (2.2)$$

di mana:

Ea = laju erosi potensial (ton/ha/3 bln.)

TSL = erosi yang dapat ditoleransi (ton/ha/3 bln.)

Estimasi laju erosi potensial dapat dilakukan menggunakan Persamaan MUSLE, sedangkan nilai erosi yang masih berada dalam batas toleransi diperkirakan melalui rumus empiris. Penentuan tingkat bahaya erosi dapat mengacu pada data yang tercantum dalam **Tabel 2.2.**

Tabel 2.2. Kriteria tingkat bahaya erosi (TBE) (Salam & Mukhlisin, 2014)

Nilai	Kriteria / rating TBE
< 1,0	Rendah
1,10 – 4,0	Sedang
4,01 – 10,0	Tinggi
>10,01	Sangat Tinggi

1) Laju Erosi Potensial

Pada penelitian ini, pendekatan untuk memperkirakan laju erosi potensial menggunakan metode MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*), yang dalam Bahasa Indonesia dikenal sebagai MPUKT (*Modifikasi Persamaan Umum Kehilangan Tanah*). Metode ini merupakan penyempurnaan dari USLE (*Universal Soil Loss Equation*) atau PUKT, yang telah dimodifikasi untuk meningkatkan akurasi dalam memperhitungkan kehilangan tanah akibat erosi (Hansen & Law, 1995).

Metode USLE sebelumnya telah dikembangkan oleh Wischmeiera and Smith (1978) untuk memperkirakan tingkat erosi rata-rata tahunan secara kasar, dengan pendekatan berbasis pada energi hujan. Sebagai penyempurnaan dari metode tersebut, MUSLE menggantikan komponen energi hujan dengan faktor limpasan permukaan (Gao & Zhao, 2023). Pergantian ini membuat estimasi sedimen yang dihasilkan cenderung lebih tinggi, sekaligus menghilangkan kebutuhan untuk menghitung Sediment Delivery Ratio (SDR). Hal ini disebabkan karena dalam MUSLE, energi yang diperlukan untuk melepaskan dan mengangkut sedimen diasumsikan berasal langsung dari limpasan permukaan.

Adapun persamaan 2.3 adalah modifikasi MUSLE sebagaimana disebutkan oleh Gao & Zhao (2023):

$$E_a = R_m \times K \times L \times S \times C \times P \quad (2.3)$$

di mana :

E_a = besarnya kehilangan rata-rata tahunan (ton/ha/3 bln.)

R_m = nilai total volume aliran permukaan (m^3/det)

K = indeks erodibilitas tanah

L = faktor panjang lereng (m)

S = faktor kemiringan lereng

C = faktor tanaman/faktor vegetasi penutup tanah

P = faktor tindakan tanah (Asdak, 1995)

a) Nilai total volume aliran permukaan (R_m)

Erosivitas merupakan kemampuan hujan untuk menyebabkan terjadinya erosi yang merupakan faktor R_m (**Persamaan 2.4**) pada MUSLE, yang dicari dengan menggunakan nilai volume aliran permukaan dan debit puncak (Hansen & Law, 1995).

$$R_m = 11,8 (V_Q \cdot Q_p)^{0,56} \quad (2.4)$$

di mana:

$$V_Q = \text{Volume Aliran Permukaan (m}^3\text{)} \quad (2.5)$$

$$Q_p = \text{Debit aliran puncak (m}^3\text{/det)} \quad (2.8)$$

Menghitung nilai V_Q dengan persamaan 2.5 :

$$V_Q = R \times \exp. (-R_c / R_o) \quad (2.5)$$

di mana:

$$R = \text{curah hujan tahunan rata-rata (mm)}$$

$$R_c = \text{kapasitas penyimpanan lengas tanah (persamaan 2.6)}$$

$$R_o = \text{jumlah hari hujan (hr) (persamaan 2.7)}$$

Untuk menghitung R_c digunakan persamaaan :

$$R_c = 1000 \times MS \times BD \times RD \times (E_t/E_o)^{0.5} \quad (2.6)$$

di mana:

$$MS = \text{kandungan lengas tanah pada kapasitas lengasan (Tabel 2.3)}$$

$$BD = \text{berat jenis volume lapisan tanah atas (Tabel 2.3)}$$

$$RD = \text{kedalaman perakaran efektif}$$

$$E_t/E_o = \text{perbandingan antara evaporasi aktual dengan evaporasi potensial (Tabel 2.4)}$$

Untuk menghitung R_o dengan persamaan 2.7.

$$R_o = R / R_n \quad (2.7)$$

di mana:

$$R = \text{curah hujan tahunan rata-rata (mm)}$$

$$R_n = \text{rerata jumlah hari hujan (hari)}$$

Menghitung nilai debit puncak dengan menggunakan metode Rasional (persamaan 2.8).

$$Q_p = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot F \quad (2.8)$$

di mana :

$$Q_p = \text{Debit puncak}$$

$$C = \text{koefisien limpasan (Tabel 2.5)}$$

I = intensitas hujan (mm/jam)

F = luas daerah pengaliran (km^2)

Tabel 2.3. Nilai MS dan BD (Arif, 2017)

Tekstur Tanah	MS (%)	BD Mgm^{-3}
Lempung berliat	40	1,3
Liat (clay)	45	1,1
Lempung	20	1,3
Liat berdebu	30	
Lempung berdebu	25	1,3
Lempung berpasir	28	1,2
Pasir halus	15	1,4

Tabel 2.3 menunjukkan nilai kandungan lengas tanah (MS) dan berat jenis volume (BD) berdasarkan tekstur tanah. Data ini digunakan dalam perhitungan kapasitas air tanah (R_c). Tanah liat memiliki kemampuan menyimpan air tertinggi (MS 45%, BD 1,1), sedangkan pasir halus terendah (MS 15%, BD 1,4), mencerminkan perbedaan kapasitas simpan air antar jenis tanah.

Tabel 2.4. Nisbah E_t/E_o beberapa jenis tanaman dan tumbuhan (Arif, 2017).

Jenis tanaman dan tumbuhan	Nisbah E_t/E_o
Gandum (<i>wheat</i>)	0,59 – 0,61
Padi sawah	1,35
Barley	0,56 – 0,60
Jagung	0,67 – 0,70
Kacangan	0,62 – 0,69
Kacang tanah	0,50 – 0,87
Kentang	0,70 – 0,80
Kol/Brussels sprouts	0,45 – 0,70
Millet/sorgum	0,62
Pisang	0,70 – 0,77
Teh	0,85 – 1,00
Kopi	0,50 -1,00
Coklat	1,00
Tebu	0,68 – 0,80
Karet	0,90
Bit gula	0,73 – 0,75

Tabel 2.4. Nisbah E_t/E_o beberapa jenis tanaman dan tumbuhan (Arif, 2017) (lanjutan).

Jenis tanaman dan tumbuhan	Nisbah E_t/E_o
Kelapa sawit	1,20
Kapas	0,63 – 0,69
Rumput (yang ditanam)	0,85 – 0,87

Tabel 2.4 menyajikan nisbah E_t/E_o berbagai tanaman yang menunjukkan tingkat kebutuhan air. Nilai ini penting untuk perencanaan irigasi dan efisiensi penggunaan air.

Tabel 2.5. Perhitungan koefisien *pengaliran* (C) (Arif, 2017) (lanjutan).

Koefisien aliran (C) = $C_t + C_s + C_v$					
Hutan		0,90 – 1,00			
Rumput praire/savana		0,80 – 0,95			
Topografi (C_t)		Tanah (C_s)		Vegetasi (C_v)	
Bergelombang (1 – 10%)	0,08	Lempung berpasir	0,08	Pertanian	0,11
Datar (1%)	0,03	Pasir dan gravel	0,04	Hutan	0,04
Pegunungan (> 20%)	0,26	Lapisan batu	0,26	Tanpa tanaman	0,28
Perbukitan (10 – 20%)	0,16	Lempung dan lanau	0,16	Padang rumput	0,21

Tabel 2.5 menunjukkan perhitungan koefisien pengaliran (C) yang didasarkan pada tiga komponen utama: topografi, jenis tanah, dan vegetasi. Nilai koefisien ini memberikan gambaran tentang besarnya aliran permukaan yang dihasilkan, dengan kombinasi dari kondisi topografi, sifat tanah, dan penutupan vegetasi yang memengaruhi tingkat aliran dan potensi limpasan permukaan.

2) Faktor erodibilitas tanah (K)

Faktor erodibilitas tanah (**K**) merepresentasikan tingkat ketahanan partikel tanah terhadap proses pelepasan dan pengangkutan akibat energi kinetik dari air hujan. Nilai erodibilitas ini sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat tanah, antara lain tekstur, stabilitas agregat, kemampuan infiltrasi, serta kandungan bahan organik dan unsur kimia tanah.

Karena tanah bersifat dinamis, karakteristiknya dapat berubah mengikuti waktu serta pengaruh dari praktik penggunaan lahan dan sistem pertanaman. Salah satu

parameter penting untuk mengukur kerentanan tanah terhadap erosi adalah faktor K, yang nilainya telah dirangkum dalam **Tabel 2.6** berdasarkan data dari Dinas RLKT, Departemen Kehutanan RI.

Tabel 2.6. Faktor K dari Depertemen Kehutanan RI (Arif, 2017).

Jenis Tanah	Faktor erodibilitas (K)
Latosol kuning kemerahan dan litosol	0,36
Lotosol coklat kemerahan dan litosol	0,43
Lotosol coklat kemerahan dan litosol	0,43
Latosol kuning kemerahan	0,56
Aluvial	0,47
Latosol mediteran dan litosol	0,46
Regusol	0,47
Granusol	0,2
Latosol kuning kemerahan dan litosol	0,36

Sejumlah pendekatan telah dikembangkan untuk menyusun representasi model yang praktis dan aplikatif dalam menggambarkan hubungan antara tingkat kepekaan tanah terhadap erosi (*erodibilitas*) dan sifat-sifat inheren tanah yang memengaruhinya. Wischmeier and Smith (1978) mengembangkan persamaan matematis yang menghubungkan karakteristik tanah dengan tingkat erodibilitas tanah (persamaan 2.9):

$$K = \left\{ 2,713 \times 10^{-4} (12 - OM) M^{1,14} + 3,25 (S - 2) + 2,5 \times \frac{(P - 3)}{100} \right\} \quad 2.9$$

di mana:

K = Erodibilitas Tanah.

O = persentase bahan organik

M = persentase dari ukuran partikel (% debu + pasir) x (100 - % liat)

S = kode struktur tanah (**Tabel 2.7**)

P = kelas permeabilitas tanah (**Tabel 2.8**)

Tabel 2.7 menunjukkan kode struktur tanah berdasarkan ukuran butirannya, yang digunakan untuk menghitung nilai K. Kategori struktur tanah meliputi granuler sangat halus hingga kasar, serta struktur berbentuk blok atau masif, dengan kode mulai dari 1 hingga 4. Klasifikasi permeabilitas tanah ditentukan berdasarkan kecepatan air yang meresap ke dalam tanah, dengan kode yang bervariasi dari 1 hingga 6.

Tabel 2.7. Kode struktur tanah untuk menghitung nilai K dengan nomograf (Suripin, 2004)

Kelas struktur tanah (ukuran diameter)	Kode
Granuler sangat halus (< 1mm)	1
Granuler halus (1 - 2 mm)	2
Granuler sedang sampai kasar (2 - 10 mm)	3
Berbentuk block, blocky, pelat, <i>masive</i>	4

Tabel 2.8. Kode permeabilitas tanah (Suripin, 2004).

Kelas Permeabilitas	Kecepatan	Kode
Sangat lambat	< 0,5	6
Lambat	0,5 – 2,0	5
Lambat s.d. sedang	2,0 – 6,3	4
Sedang	6,3 – 12,7	3
Sedang s.d. cepat	12,7 – 25,4	2
Cepat	>25,4	1

Setiap kelas diberikan kode, di mana kode 6 menunjukkan permeabilitas sangat lambat, sedangkan kode 1 menunjukkan permeabilitas cepat sebagaimana disebutkan pada **Tabel 2.8**

3) Faktor panjang dan kemiringan lereng (LS)

Indeks topografi L dan S masing-masing menggambarkan dampak dari panjang dan sudut kemiringan lereng terhadap intensitas erosi. Panjang lereng berkaitan dengan jalur aliran air di permukaan tanah, yang merupakan area berlangsungnya proses erosi serta potensi terjadinya pengendapan sedimen. Sementara itu, kemiringan lereng berperan dalam menentukan kecepatan serta jumlah air limpasan. Lereng yang semakin terjal akan menyebabkan aliran permukaan semakin cepat, sehingga volume limpasan pun cenderung meningkat. Nilai gabungan faktor L dan S (LS) dapat diperoleh melalui perhitungan dengan menggunakan persamaan **2.10**.

$$LS = [(65,41 \times SL^2)/(SL^2 + 10.000) + (4,56 \times s)/(s^2 + 10.000)]^{-2} + 0,07][l/72,5]m \quad (2.10)$$

di mana :

LS = faktor topografi

SL = kemiringan lereng (%)

L = panjang lereng (m)

m = angka tetapan, besarnya tergantung pada kemiringan lereng, kemiringan lereng dapat di lihat pada **Tabel 2.9**.

Tabel 2.9. Nilai m (Suripin, 2004).

Kemiringan Lereng (SL)	Nilai m
$s < 1\%$	0.2
$1\% \leq s < 3\%$	0.3
$3\% \leq s < 4,5\%$	0.4
$s \geq 5\%$	0.5

Faktor LS menggambarkan kombinasi antara panjang dan kemiringan lereng yang mempengaruhi erosi, dengan nilai LS meningkat seiring dengan bertambahnya kemiringan dan panjang lereng.

Tabel 2.10. Nilai LS berdasarkan panjang dan *gradient* kemiringan lereng (Asdak, 1995)

Gradient Kemiringan lereng, SL (%)	Nilai LS menurut panjang lereng (m)									
	3,0	6,1	9,1	12,2	15,2	18,3	21,3	24,4	27,4	30,5
0,5	0,060	0,070	0,070	0,080	0,080	0,090	0,090	0,090	0,090	0,100
1	0,080	0,090	0,100	0,100	0,110	0,110	0,120	0,120	0,120	0,120
2	0,100	0,120	0,140	0,150	0,160	0,170	0,180	0,190	0,190	0,200
3	0,140	0,180	0,200	0,220	0,230	0,250	0,260	0,270	0,280	0,290
4	0,160	0,210	0,250	0,280	0,300	0,330	0,350	0,370	0,380	0,400
5	0,170	0,240	0,290	0,340	0,380	0,410	0,450	0,480	0,510	0,530
6	0,210	0,300	0,370	0,430	0,480	0,520	0,560	0,600	0,640	0,670
7	0,260	0,370	0,450	0,520	0,580	0,640	0,690	0,740	0,780	0,820
8	0,310	0,440	0,540	0,630	0,700	0,770	0,830	0,890	0,980	0,990
9	0,370	0,520	0,640	0,740	0,830	0,910	0,980	1,050	1,110	1,170
10	0,430	0,160	0,750	0,870	0,970	1,060	1,150	1,220	1,300	1,370
12,5	0,610	0,860	1,050	1,220	1,360	1,490	1,610	1,720	1,820	1,920
15	1,140	0,810	1,400	1,620	10,81	1,980	2,140	2,290	2,430	2,560
20	1,820	1,290	2,230	2,580	2,880	3,160	3,410	3,650	3,870	4,080
22	2,13	1,51	2,61	3,02	3,37	3,69	3,99	4,27	4,53	4,77
25	2,63	1,86	3,23	3,73	4,16	4,56	4,93	5,27	5,59	5,89
30	3,56	2,51	4,36	5,03	5,62	6,16	6,65	7,11	7,54	7,95
35	4,57	3,23	5,60	6,46	7,23	7,92	8,55	9,14	9,70	10,22
40	5,66	4,00	6,93	8,00	8,95	9,80	10,59	11,32	12,0	12,65
45	6,80	4,81	8,33	9,61	10,75	11,77	12,72	13,60	14,42	15,20
50	7,97	5,64	9,76	11,27	12,60	13,81	14,91	15,94	16,91	17,82
55	9,16	6,48	11,22	12,96	14,48	15,87	17,14	18,32	19,43	20,48
70	12,70	8,98	15,55	17,96	20,08	21,99	23,75	25,39	26,93	28,39
75	13,83	9,78	16,94	19,56	21,87	23,95	25,87	27,66	29,34	30,92
80	14,93	10,55	18,28	21,11	23,60	25,85	27,93	29,85	31,66	33,38
85	15,98	11,30	19,58	22,61	25,27	27,69	29,90	31,97	33,91	35,74
90	17,00	12,02	20,82	24,04	26,88	29,44	31,80	34,00	36,06	38,01
95	17,97	12,71	22,01	25,41	28,41	31,12	33,62	35,94	38,12	40,18
100	18,89	13,36	23,14	26,72	29,87	32,72	35,34	37,78	40,08	42,24

Tabel 2.10 menampilkan nilai LS yang dikategorikan berdasarkan panjang lereng dan gradien kemiringan lereng, sebagaimana yang disajikan oleh Keith *et al.* (2014)). Dengan demikian, penggunaan rumus LS memungkinkan perhitungan yang lebih presisi dalam menentukan potensi erosi yang terjadi pada lahan miring.

4) Faktor tanaman atau vegetasi penutup tanah (C)

Indeks pengelolaan tanaman (C) diartikan sebagai rasio antara jumlah tanah yang tererosi pada suatu sistem pengelolaan tanaman tertentu terhadap jumlah tanah yang tererosi pada lahan tanpa perlakuan atau kondisi referensi tertentu, seperti tanpa penutup tanah atau tanpa konservasi.

Faktor penutup lahan (C) menggambarkan pengaruh gabungan dari vegetasi, seresah, kondisi permukaan tanah, serta praktik pengelolaan lahan terhadap besarnya kehilangan tanah akibat erosi. Penetapan nilai faktor C sering kali menjadi tantangan tersendiri karena adanya variasi metode budidaya untuk jenis tanaman tertentu di lokasi yang berbeda (Salam & Mukhlisin, 2014). Pola penanaman serta jenis tanaman yang dibudidayakan memiliki peran signifikan terhadap tingkat erosi dan limpasan permukaan, karena keduanya memengaruhi tingkat penutupan lahan dan jumlah bahan organik yang dihasilkan, yang berfungsi sebagai agen pemantap struktur tanah. Nilai C untuk beberapa jenis dan pengelolaan tanaman dapat dilihat pada **Tabel 2.11**.

Tabel 2.11. Nilai faktor C (pengolahan tanaman) (Arsyad, 1989).

No.	Macam Penggunaan Lahan	Nilai Faktor C
1	S a w a h	0,01
2	Tegalan tidak dispesifikasi	0,7
3	U b i k a y u	0,8
4	Tanah terbuka, tanpa tanaman	1
5	J a g u n g	0,7
6	P i s a n g	0,6
7	K e n t a n g	0,4
8	B a w a n g	0,35
9	K e d e l a i	0,399
10	Akar w a n g i (sereh wangi)	0,4

Pada penelitian ini nilai C yang digunakan dalam model adalah Kentang. Untuk nilai C Bawang Merah tidak ada di **Tabel 2.11.**, tetapi dengan mempertimbangkan sifat dan karakteristik tanaman bisa diambil 0,3 – 04 (Idniaty, 2021).

5) Faktor tindakan tanah (P)

Faktor P merupakan rasio antara jumlah tanah yang tererosi pada lahan yang menerapkan teknik konservasi tertentu dibandingkan dengan erosi rata-rata pada lahan tanpa perlakuan konservasi. Besarnya nilai P mencerminkan pengaruh tindakan pengelolaan dan konservasi lahan terhadap tingkat erosi, yang umumnya sangat dipengaruhi oleh tingkat kemiringan lereng.

Pada lahan pertanian, nilai faktor P mencerminkan jenis kegiatan pengolahan tanah seperti pencangkulan dan tahap persiapan lainnya. Sementara itu, dalam konteks konstruksi, besarnya nilai P merepresentasikan tingkat kekasaran permukaan tanah yang dihasilkan dari aktivitas alat berat seperti traktor dan mesin pertanian lainnya. Beberapa nilai faktor P untuk berbagai tindakan konservasi diberikan pada **Tabel 2.12.**

Tabel 2.12. Nilai faktor P (Arsyad, 2010)

No	Tindakan khusus konservasi tanah	Nilai P
1	Tanpa tindakan pengendalian erosi	1,00
2	Teras bangku	
	- Konstruksi baik	0,04
	- Konstruksi sedang	0,15
	- Konstruksi kurang baik	0,35
	- Teras tradisional	0,40
3	Strip tanaman	
	- Rumput bahia	0,40
	- Rumput clotararia	0,64
	- Dengan kontur	0,20
4	Pengolahan tanah dan penanaman menurut garis kontur	
	- Kemiringan 0 – 8%	0,50
	- Kemiringan 8 – 20%	0,75
	- Kemiringan > 20%	0,90

Tabel 2.13 memberikan perkiraan nilai faktor CP untuk berbagai jenis penggunaan lahan di Jawa, yang diadaptasi dari penelitian Abdurachman *et al.* (1984)

dan Ambar & Syarifuddin (1979). Faktor CP ini sangat penting dalam menilai potensi erosi pada lahan berdasarkan tindakan konservasi tanah yang dilakukan.

Tabel 2.13. Perkiraan nilai faktor CP berbagai jenis penggunaan lahan di Jawa (Arsyad, 2009).

No	Tindakan khusus konservasi tanah	Nilai CP
1	Kebun :	
	a. Kebun – talun	0,02
	b. Kebun pekarangan	0,20
2	Perkebunan :	
	a. Penutupan tanah sempurna	0,01
		0,07
3	Tanaman pertanian :	
	a. Umbi-umbian	0,51
	b. Biji-bijian	0,51
	c. Kacang-kacangan	0,36
4	Pertanian dengan konservasi:	
	a. Mulsa	0,14
	b. Teras bangku	0,04
	c. Contour cropping	0,14

2. Erosi Yang Dapat Ditoleransi

Secara prinsip, erosi merupakan proses alami yang tidak dapat dieliminasi sepenuhnya, terutama pada lahan pertanian, sehingga tidak realistis mengharapkan tingkat erosi mencapai nol. Oleh karena itu, upaya pengelolaan difokuskan pada pengendalian erosi agar tetap berada di bawah batas toleransi (*soil loss tolerance*), yakni tingkat kehilangan tanah yang masih sebanding dengan laju pembentukannya.

Terdapat empat faktor utama yang menentukan tingkat erosi yang masih dapat ditoleransi tanpa menurunkan kesuburan tanah secara permanen, yaitu kedalaman tanah, jenis bahan induk, perbandingan produktivitas antara lapisan atas (*topsoil*) dan bawah (*subsoil*), serta tingkat erosi yang telah terjadi sebelumnya (Rahim, 2012). Keempat faktor tersebut adalah kedalaman tanah, tipe bahan induk, produktivitas relatif dari topsoil dan subsoil, dan jumlah erosi terdahulu. Secara alami, nilai toleransi kehilangan tanah sangat bergantung pada kondisi spesifik tanah. Misalnya, kehilangan tanah sebesar 25 mm dalam 30 tahun pada tanah dengan profil dalam dan kesuburan merata tidak akan berdampak sebesar itu jika terjadi pada tanah dangkal dengan lapisan subur yang terbatas.

Pengelolaan lahan di wilayah dengan solum tanah yang dangkal membutuhkan perhatian khusus karena lapisan tanah yang tipis membuatnya lebih rentan terhadap hilangnya unsur hara dan degradasi struktur akibat erosi. Berdasarkan rekomendasi dari SCD - USDA, batas toleransi erosi yang diperbolehkan disesuaikan dengan kedalaman tanah; semakin dangkal lapisan tanah, semakin rendah batas erosi yang dapat ditoleransi. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa tanah tetap mampu mendukung pertumbuhan tanaman dalam jangka panjang. Sebagai contoh, pada tanah dengan solum tebal, laju erosi yang diperbolehkan adalah 11,2 ton/ha/3 bln., namun untuk tanah yang sangat dangkal, toleransi erosi ditetapkan jauh lebih rendah, berkisar antara 2 hingga 4 ton/ha/3 bln.. Pengaturan ini bertujuan agar lahan tetap produktif dan berkelanjutan, dengan menjaga kondisi tanah sedemikian rupa sehingga tidak terjadi penurunan fungsi ekologis maupun produktivitasnya. Sebagaimana terlihat pada **Tabel 2.14**.

Tabel 2.14. Batas maksimum laju erosi yang dapat ditoleransi untuk berbagai macam kondisi tanah (Suripin, 2004)

KONDISI TANAH	Laju Erosi (kg/m ² /th)
Skala makro (misal DAS)	0,2
Skala meso (misal lahan pertanian):	0,6
Tanah berlempung tebal dan subur (Mid-West,USA)	1,1
Skala makro (misal DAS)	0,2
Tanah tropika yang sangat mudah tererosi	2,5
Skala mikro (misal daerah terbangun)	2,5
Tanah dangkal di atas batuan	0,112
Tanah dalam di atas batuan	0,224
Tanah lapisan dalam padat diatas batuan lunak	0,448
Tanah dengan permeabilitas lambat diatas batuan lunak	1,121
Tanah yang permeabel diatas batuan lunak	1,341

Laju erosi yang dapat ditoleransi juga dapat di prakirakan (**persamaan 2.10**).

$$TSL = \frac{fd \times DE}{W} + BD \quad 2.10$$

di mana :

TSL = laju erosi yang masih dapat ditoleransi (mm/th)

DE = kedalaman efektif tanah (mm)

fd = faktor kedalaman

W = umur guna sumberdaya tanah (300 dan 400 tahun). (th)

BD = kerapatan massa tanah (bulk density). (gr/cm³).

Semakin besar kedalaman tanah dan semakin rendah kerapatan massa tanah, laju erosi yang dapat ditoleransi akan meningkat. **Tabel 2.15** memberikan nilai faktor kedalaman tanah berdasarkan klasifikasi USDA, yang digunakan untuk menyesuaikan prakiraan laju erosi yang masih bisa diterima pada berbagai jenis tanah.

Tabel 2.15. Nilai Faktor Kedalaman Tanah pada Berbagai Jenis Tanah
(Suripin, 2004)

NO	USDA	Faktor kedalaman tanah
1	Tropepts	1,0
2	Udolls	1,0
3	Ustolls	1,0
4	Humox	1,0
5	Arents	1,0
6	Fluvents	1,0
7	Orthents	1,0
8	Psamments	1,0
9	Andepts	1,0
10	Hummods	1,0
11	Humults	1,0
12	Uderts	1,0
13	Ustearts	1,0
14	Aqualfs	0,9
15	Udalfs	0,9
16	Ustalfs	0,9
17	Aquents	0,9

2.8. Biaya dan Pendapatan usaha tani.

Usaha tani adalah kegiatan mengusahakan dan mengoordinir faktor-faktor produksi berupa lahan, tenaga kerja dan modal seefektif mungkin sehingga usaha tersebut memberikan pendapatan yang maksimal. Dalam proses produksi, diperlukan sejumlah input atau faktor produksi yang penggunaannya perlu diperhatikan secara cermat. Prinsip

dasarnya adalah mengoptimalkan penggunaan input secara efisien. Efisiensi sendiri secara terminologis terbagi menjadi tiga jenis: (1) efisiensi teknis, yang terjadi ketika penggunaan faktor produksi menghasilkan output maksimal; (2) efisiensi alokatif atau harga, yaitu kondisi ketika nilai produk marginal setara dengan harga input yang digunakan; dan (3) efisiensi ekonomis, yakni tercapainya efisiensi secara teknis sekaligus alokatif dalam kegiatan usaha tani (Soekartawi, 1990).

2.8.1. Biaya Usaha tani

Biaya produksi dalam usaha tani merupakan pengeluaran yang tidak dapat dihindari namun masih dapat diperkirakan, sebagai bagian dari proses menghasilkan suatu produk. Biaya ini mencerminkan beban atas penggunaan berbagai faktor produksi, seperti bahan baku, tenaga kerja langsung, dan teknologi yang digunakan. Seiring dengan meningkatnya tingkat persaingan di sektor pertanian, penting bagi pelaku usaha tani untuk mengelola biaya secara cermat. Upaya efisiensi menjadi kunci, sehingga pengambilan keputusan dalam pengelolaan usaha harus dilakukan secara hati-hati guna menjaga kelangsungan dan daya saing usaha (Assauri, 2008).

Menurut Roostika *et al.* (2016) biaya-biaya tersebut dapat didefinisikan sebagai berikut :

1) Biaya Tetap (*fixed cost – FC*).

Biaya tetap (*fixed cost*) merupakan komponen biaya produksi yang nilainya tidak terpengaruh oleh jumlah output yang dihasilkan, dan penggunaannya tidak habis dalam satu musim tanam. Secara keseluruhan, biaya tetap tetap konstan meskipun terjadi fluktuasi dalam volume produksi atau penjualan, selama masih dalam rentang kapasitas tertentu.

2) Biaya Variabel (*variable cost – VC*)

Biaya variabel atau *variable cost* merupakan jenis biaya yang nilainya bergantung pada besarnya volume produksi dan akan habis dalam satu siklus proses produksi. Dalam kegiatan usaha tani, biaya ini mencakup antara lain biaya pembelian benih per kilogram, pupuk per kilogram, pestisida per kilogram atau liter, serta upah tenaga kerja yang dihitung berdasarkan volume atau intensitas produksi.

2.8.2. Pendapatan usaha tani

Pendapatan merupakan hasil selisih antara total penerimaan dan keseluruhan biaya yang dikeluarkan dalam proses produksi. Adapun penerimaan diperoleh dari hasil kali antara jumlah produk yang dihasilkan dengan harga jual per satuan produk (Turasih, 2019). Selanjutnya Soekartawi (2010) menguraikan bahwa pendapatan dalam usaha tani dibedakan menjadi dua kategori, yaitu pendapatan kotor (*gross farm income*) dan pendapatan bersih (*net farm income*). Pendapatan kotor mencerminkan nilai total seluruh hasil produksi dalam suatu periode tertentu, termasuk produk yang: (1) dijual ke pasar, (2) dikonsumsi oleh rumah tangga petani, (3) dimanfaatkan kembali dalam kegiatan usahatani seperti untuk benih atau pakan ternak, (4) digunakan sebagai alat tukar pembayaran, serta (5) disimpan untuk keperluan mendatang.

Untuk menentukan nilai suatu produk pertanian, perlu dikalikan dengan harga pasar yang berlaku, yaitu harga jual bersih yang diterima oleh petani. Sementara itu, pendapatan bersih usaha tani diperoleh dari selisih antara pendapatan kotor dengan total biaya yang dikeluarkan dalam proses produksi. Pendapatan petani sangat dipengaruhi oleh besarnya penerimaan dan pengeluaran dalam kegiatan usahatani. Komponen ini bergantung pada harga jual produk di tingkat petani serta harga input atau faktor produksi yang digunakan. Dengan demikian, setiap perubahan pada harga komoditas atau biaya produksi akan berdampak langsung terhadap fluktuasi pendapatan usaha tani.

2.8.3. Aspek Produksi Pertanian

Menurut Soekartawi (1990), Untuk mendukung keberhasilan dalam bidang agribisnis, ketersediaan bahan baku pertanian secara berkelanjutan dalam jumlah yang memadai menjadi hal yang sangat krusial. Keberlangsungan produksi pertanian ini dipengaruhi oleh beragam faktor, seperti jenis komoditas (X_1), luas lahan pertanian (X_2), jumlah tenaga kerja (X_3), ketersediaan modal (X_4), kemampuan manajerial (X_5), kondisi iklim (X_6), serta aspek sosial ekonomi masyarakat (X_7). Hubungan antara variabel-variabel tersebut dapat dirumuskan secara matematis (2.11).

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7) \quad (2.11)$$

Berdasarkan persamaan tersebut, dapat disimpulkan bahwa tingkat produksi sangat dipengaruhi oleh variabel X_1 hingga X_7 , serta oleh faktor-faktor lain yang tidak tercakup dalam Persamaan (1). Meski demikian, perlu diingat bahwa besarnya nilai Y juga sangat

ditentukan oleh kondisi lokal, mengingat karakteristik pertanian yang bersifat spesifik lokasi dan sangat bergantung pada lingkungan setempat (*local specific*).

2.8.4. Faktor Produksi

Faktor produksi merupakan segala bentuk pengorbanan yang diberikan untuk mendukung pertumbuhan dan hasil tanaman secara optimal. Dalam berbagai literatur, istilah ini juga dikenal dengan sebutan *input*, *production factor*, atau korbanan produksi. Keberadaan faktor produksi sangat berperan dalam menentukan tingkat hasil yang dicapai.

Pengalaman menunjukkan bahwa faktor produksi seperti lahan, modal untuk pembelian benih, pupuk, pestisida, tenaga kerja, serta aspek manajerial merupakan unsur yang paling krusial dibandingkan dengan yang lain. Hubungan antara *faktor produksi* (*input*) dan hasil produksi (*output*) biasa disebut sebagai *fungsi produksi* atau *factor relationship*.

2.8.5. Optimasi Penggunaan Faktor Produksi

Prinsip optimalisasi penggunaan faktor produksi pada dasarnya bertujuan untuk memaksimalkan hasil melalui pemanfaatan input secara efisien. Dalam kajian ekonomi, istilah *efisiensi* dapat dibedakan ke dalam tiga kategori utama, yaitu:

- a. Efisien teknis
- b. Efisien alokatif (efisiensi harga) dan
- c. Efisiensi ekonomi.

Penggunaan faktor produksi dikatakan efisien secara teknis apabila input yang digunakan mampu menghasilkan output secara maksimal. Sementara itu, efisiensi harga dan efisiensi alokatif tercapai apabila nilai produk marginal dari suatu input setara dengan harga dari input tersebut. Usaha pertanian dinyatakan efisien secara ekonomi apabila mampu meraih efisiensi teknis sekaligus efisiensi harga. Dalam konteks ini, optimalisasi penggunaan faktor produksi difokuskan pada pengelolaan biaya untuk sarana produksi, tenaga kerja, sistem pengairan, sewa lahan, serta bunga dari modal usaha.

2.8.6. Harga Pokok Produksi

Penghitungan harga pokok produksi bertujuan untuk mengetahui total biaya yang dikeluarkan dalam proses pembuatan suatu komoditas, seperti bawang merah dan kentang, yang dapat dihitung menggunakan metode *full costing*. Biaya produksi sendiri merupakan pengeluaran yang tidak dapat dihindari, namun masih dapat diperkirakan

dalam rangka menghasilkan suatu barang. Besarnya biaya ini mencerminkan beban atas penggunaan berbagai faktor produksi, seperti bahan baku, tenaga kerja langsung, dan teknologi, yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu. Mengingat semakin ketatnya persaingan dalam sektor usaha tani saat ini, maka perhatian utama harus diberikan pada upaya pengendalian biaya agar tidak membengkak. Oleh karena itu, pengambilan keputusan dalam pengelolaan usaha tani atau perusahaan perlu dilakukan secara cermat dan bijaksana (Tomashuk, 2023).

Mahanty (1980) mengatakan bahwa biaya dapat dipahami sebagai nilai pengorbanan yang dikeluarkan untuk memperoleh suatu hasil atau manfaat. Ditinjau dari segi kerangka waktu, biaya dibedakan menjadi dua jenis, yaitu biaya jangka pendek dan biaya jangka panjang. Pada periode jangka pendek, biaya terdiri atas biaya tetap (*fixed cost*) dan biaya variabel (*variable cost*), sedangkan dalam jangka panjang seluruh biaya umumnya dianggap sebagai biaya variabel karena seluruh input dapat disesuaikan. Biaya dalam kegiatan usaha tani dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain jumlah penggunaan input, harga input, jumlah dan upah tenaga kerja, serta intensitas pengelolaan yang diterapkan dalam usahatani tersebut. Menurut Guritno *et al.* (2011). Berbagai komponen biaya tersebut dapat diuraikan sebagai berikut:

a. Biaya Tetap (*fixed cost* – FC)

Biaya tetap (*fixed cost*) merupakan komponen biaya produksi yang jumlahnya tidak berubah meskipun terjadi perubahan dalam volume produksi, dan penggunaannya tidak habis hanya dalam satu musim tanam (Guritno *et al.*, 2011). Biaya tetap adalah jenis biaya yang secara keseluruhan tidak mengalami perubahan meskipun terjadi fluktuasi dalam volume produksi atau penjualan, selama masih dalam batas kapasitas tertentu. Dengan kata lain, biaya ini tidak dipengaruhi oleh jumlah output yang dihasilkan. Contoh dari biaya tetap meliputi gaji yang dibayarkan secara tetap, sewa lahan, pajak tanah, penggunaan alat dan mesin, bangunan, bunga pinjaman, serta berbagai bentuk biaya tetap lainnya. Guritno *et al.* (2011), mengatakan bahwa pengeluaran biaya operasional dalam usaha tani merujuk pada biaya yang digunakan untuk mendukung peningkatan hasil produksi, seperti pembelian pupuk, kebutuhan air, dan upah tenaga kerja. Biaya-biaya ini dikeluarkan selama seluruh siklus budidaya, mulai dari penanaman hingga panen, dan memiliki peran penting dalam menentukan tingkat produktivitas yang dicapai.

b. Biaya Variabel (*variable cost* – *VC*)

Biaya tidak tetap atau *variable cost* adalah jenis biaya yang nilainya berfluktuasi seiring dengan perubahan jumlah produksi, dan biasanya habis dalam satu siklus produksi. Biaya ini bersifat proporsional terhadap volume output atau tingkat penjualan yang dicapai. Dengan kata lain, *biaya variabel* akan meningkat atau menurun tergantung pada skala produksi yang dijalankan. Dalam konteks usaha tani, yang termasuk biaya variabel antara lain biaya pengadaan benih (dalam satuan kilogram), pupuk, pestisida (dalam satuan kilogram atau liter), serta upah tenaga kerja yang dihitung berdasarkan volume kerja atau hasil produksi. Selain itu, bunga modal dan biaya kemasan yang dihitung per musim tanam juga termasuk dalam kategori biaya variabel.

Menurut Kono & Sipayung (2020), biaya Produksi yang digunakan dalam usaha tani meliputi:

1) Pengolahan Lahan

Komponen biaya yang termasuk dalam kategori biaya pengolahan lahan meliputi kegiatan pembersihan lahan, pembuatan bedeng, penanaman, pemeliharaan tanaman, kegiatan panen dan pasca panen, serta pengeluaran untuk bahan baku yang digunakan dalam proses budidaya.

2) Biaya Bahan Baku

Biaya bahan baku merujuk pada komponen utama dalam proses produksi yang secara langsung memengaruhi dan dapat dibebankan pada perhitungan harga pokok produk. Dalam kegiatan usaha tani bawang merah atau kentang, bahan baku yang digunakan selama satu musim tanam mencakup bibit, yang menjadi elemen dasar dalam memulai proses budidaya.

3) Biaya Tenaga Kerja

Biaya tenaga kerja merupakan pengeluaran yang dialokasikan untuk sumber daya manusia yang memegang peranan penting dalam seluruh proses produksi usahatani. Tenaga kerja yang digunakan biasanya berasal dari dua sumber, yaitu tenaga kerja keluarga dan non-keluarga. Penggunaan tenaga kerja dari dalam keluarga cenderung lebih dominan karena dianggap dapat membantu menekan beban biaya tenaga kerja secara keseluruhan (Tambunan, 2023). Raharjo (2020) menyatakan bahwa tenaga kerja dalam

kegiatan usahatani ditentukan oleh luas lahan yang diusahakan untuk setiap jenis komoditas.

4) Biaya *Overhead*

Biaya *overhead* adalah bagian dari biaya produksi yang tidak termasuk dalam bahan baku langsung maupun tenaga kerja langsung, namun tetap muncul selama berlangsungnya proses produksi. Biaya ini dibedakan menjadi dua kategori utama, yakni biaya overhead tetap dan biaya overhead variabel.

a. Biaya *Overhead* Tetap

Biaya overhead tetap mencakup antara lain biaya pajak serta biaya penyusutan atas peralatan yang digunakan.

- (1) Pajak termasuk dalam kategori biaya tetap yang dihitung berdasarkan luas lahan yang dimanfaatkan dalam kegiatan usaha tani.
- (2) Penyusutan alat merupakan salah satu biaya-biaya yang diperhitungkan dalam menganalisis usaha tani

b. Biaya *Overhead* Variabel

Yang termasuk biaya *Overhead* variabel contohnya adalah biaya pengangkutan, biaya karung plastik dan sebagainya.

2.8.7. Penerimaan, Pendapatan Dan Keuntungan

1) Penerimaan Usaha tani

Penerimaan dari usaha tani dihitung berdasarkan hasil kali antara total produksi dan harga jual komoditas. Harga jual sendiri merupakan nilai yang disepakati dalam transaksi antara petani sebagai produsen dan pembeli, untuk setiap jenis komoditas, dengan satuan umum yang lazim digunakan dalam perdagangan, seperti kilogram (kg).

2) Pendapatan Usaha tani.

Penerimaan dari usaha tani dihitung berdasarkan hasil kali antara total produksi dan harga jual komoditas. Harga jual sendiri merupakan nilai yang disepakati dalam transaksi antara petani sebagai produsen dan pembeli, untuk setiap jenis komoditas, dengan satuan umum yang lazim digunakan dalam perdagangan, seperti kilogram (Raharjo, 2020). Soekartawi (1990), membedakan pendapatan usaha tani menjadi dua jenis, yaitu pendapatan kotor usaha tani (*gross farm income*) dan pendapatan bersih usaha tani (*net farm income*). Pendapatan kotor usaha tani mencerminkan nilai total seluruh

hasil produksi dalam suatu periode, yang mencakup produk yang dijual, dikonsumsi oleh rumah tangga petani, digunakan kembali dalam proses usaha tani seperti untuk bibit atau pakan ternak, digunakan sebagai alat pembayaran, serta disimpan untuk keperluan berikutnya. Untuk menentukan nilai produk tersebut, perhitungan dilakukan dengan mengalikan jumlah produk dengan harga pasar yang berlaku, yaitu harga jual bersih yang diterima di tingkat petani.

Pendapatan bersih dalam usaha tani dihitung sebagai selisih antara pendapatan kotor dan keseluruhan biaya yang dikeluarkan selama proses produksi. Besar kecilnya pendapatan tersebut dipengaruhi oleh jumlah penerimaan serta total biaya produksi yang harus dikelola oleh petani. Dua faktor utama yang memengaruhi pendapatan usaha tani adalah harga jual produk yang diterima di tingkat petani serta harga input produksi yang digunakan. Oleh karena itu, setiap perubahan pada harga komoditas atau biaya faktor produksi akan berdampak langsung terhadap fluktuasi pendapatan yang diperoleh petani.

Pemerataan pendapatan yang ideal tercermin dari semakin seimbangnya distribusi pendapatan antar kelompok masyarakat. Namun demikian, peningkatan pertumbuhan ekonomi tidak secara otomatis membawa dampak pada pemerataan tersebut. Agar pertumbuhan ekonomi dapat berkontribusi terhadap distribusi pendapatan yang lebih adil, setidaknya dua kondisi harus dipenuhi: peningkatan peluang kerja serta efisiensi produktivitas. Semakin luas lapangan pekerjaan yang tersedia, semakin besar pula kemungkinan masyarakat untuk memperoleh pendapatan. Dalam hal ini, variabel utama yang memengaruhi laju pertumbuhan ekonomi dan pendapatan masyarakat meliputi investasi modal, ketersediaan tenaga kerja, serta penerapan teknologi yang tepat guna (Idniaty, 2021). Pendapatan usaha tani merupakan hasil dari pengurangan total biaya produksi dari total penerimaan yang diperoleh (Joesron & Fathorrazi, 2012).

3) Keuntungan Relatif (*R/C Ratio*) Usaha tani

R/C ratio, atau *Return to Cost ratio*, adalah rasio yang membandingkan total penerimaan dengan total biaya yang dikeluarkan dalam suatu usaha. Rasio ini digunakan sebagai indikator untuk mengukur efisiensi dalam usaha tani.

2.9. Optimasi dengan metode Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis (MOORA).

Menurut Nofriansyah (2017), *Multiobjective Optimization on the basis of Ratio Analysis (MOORA)* merupakan suatu metode optimasi multiobyektif yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang melibatkan dua atau lebih kriteria yang saling bertentangan secara simultan. Pendekatan ini diterapkan dalam penyelesaian persoalan dengan perhitungan matematis yang kompleks, khususnya dalam pengambilan keputusan berbasis banyak kriteria.

Pendekatan yang diperkenalkan oleh Brauers & Zavadskas (2006) telah banyak diterapkan di berbagai bidang, seperti ekonomi, manajemen, konstruksi, lingkungan, bangunan, dan desain jalan. Proses pengambilan keputusan menggunakan pendekatan ini dianggap memiliki tingkat selektivitas yang tinggi karena mampu mengoptimalkan beberapa alternatif secara bersamaan, bahkan ketika terdapat tujuan atau kriteria yang saling bertentangan, seperti *benefit* (menguntungkan) dan *cost* (tidak menguntungkan).

Keunggulan lainnya terletak pada kemampuannya memisahkan objek evaluasi hingga proses penilaian kriteria dengan bobot keputusan yang jelas. Selain fleksibel, pendekatan ini juga mudah dipahami sehingga efektif untuk diterapkan pada berbagai kondisi. Dengan kemampuan untuk mengoptimalkan dua atau lebih alternatif dalam satu waktu dan mempertimbangkan berbagai kendala, pendekatan ini memberikan hasil yang relevan dan akurat dalam konteks pengambilan keputusan.

Secara umum, metode MOORA terdiri dari lima langkah utama yaitu sebagai berikut:

Langkah ke-1 : Input nilai Alternatif dan Kriteria

Menginputkan nilai alternatif pada suatu kriteria di mana nilai tersebut nantinya akan diproses dan hasilnya akan menjadi sebuah keputusan. Langkah pertama adalah menentukan alternatif yang akan dibandingkan dan kriteria yang digunakan untuk evaluasi.

- **Alternatif:** Kombinasi model penanaman dan jenis tanaman yang menjadi fokus penelitian. Dalam penelitian ini alternatifnya adalah sebagai berikut:
 - Kentang searah kontur
 - Kentang tegak lurus kontur
 - Bawang Merah searah kontur
 - Bawang Merah tegak lurus kontur

- **Kriteria:** Faktor-faktor yang digunakan untuk menilai alternatif, dalam penelitian ini kriterianya adalah sebagai berikut:
 - Jumlah erosi (*Cost*): Tingkat erosi yang dihasilkan akibat model penanaman.
 - Biaya produksi (*Cost*): Biaya yang dikeluarkan untuk setiap model penanaman.
 - Hasil panen (*Benefit*): Jumlah hasil panen yang diperoleh dari masing-masing model.

Input ini menjadi dasar untuk membangun matriks keputusan yang akan digunakan pada langkah berikutnya.

Langkah ke-2 : merubah nilai kriteria menjadi matriks keputusan

Langkah berikutnya adalah menyajikan seluruh informasi dari setiap atribut dalam bentuk matriks keputusan. Dalam matriks ini, x merepresentasikan nilai dari masing-masing kriteria untuk setiap alternatif yang dianalisis. Matriks ini merepresentasikan nilai kuantitatif yang menunjukkan performa setiap alternatif terhadap masing-masing kriteria (persamaan 2.12).

$$x_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdot & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdot & x_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdot & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Keterangan:

x_{ij} : Matriks Keputusan alternatif i pada kriteria j

i : Alternatif (Baris)

j : Atribut/kriteria (kolom)

n : Jumlah atribut / kriteria.

m : Jumlah alternatif / baris.

Langkah ke-3 : Normalisasi pada metode MOORA

Proses normalisasi bertujuan untuk menyeragamkan skala setiap elemen dalam matriks keputusan, sehingga seluruh nilai berada dalam rentang yang sebanding. Dalam metode *MOORA*, normalisasi dilakukan dengan menggunakan rumus tertentu yang dirancang untuk menghilangkan perbedaan satuan antar kriteria. Persamaan normalisasi tersebut (2.13) digunakan sebagai dasar perhitungan dalam tahap selanjutnya.

$$X^*_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m x_{ij}^2}} \quad (2.13)$$

Keterangan:

- x_{ij} : Matriks Keputusan alternatif i pada kriteria j
- I : Alternatif (baris)
- J : Atribut/kriteria (kolom)
- M : Jumlah atribut / kriteria.
- X^*_{ij} : Matriks normalisasi pada alternatif i pada kriteria j

Langkah ke-4 : Menghitung Nilai Optimasi

$$y_i^* = \sum_{j=1}^g w_j x_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^n w_j x_{ij}^* \quad (2.14)$$

Keterangan:

- x^*_{ij} : Matriks normalisasi pada alternatif i pada kriteria j
- j : Atribut/kriteria (kolom)
- w_j : bobot kriteria ke j.
- g : Jumlah atribut / kriteria/kolom dengan kriteria *benefit* (keuntungan).
- g+1 : Atribut / kriteria (kolom) dengan kriteria *cost* (biaya).
- n : Jumlah atribut/kriteria/kolom
- y^*_i : Matriks normalisasi pada alternatif i pada kriteria j

Berdasarkan persamaan 2.14, nilai optimasi y^*_i ke-i untuk alternatif ke-i dapat bernilai positif maupun negatif, tergantung pada karakteristik atribut yang menguntungkan dalam matriks keputusan. Nilai y^*_i ini kemudian digunakan sebagai dasar untuk menentukan peringkat akhir. Oleh karena itu, alternatif dengan nilai y^*_i tertinggi dianggap sebagai pilihan terbaik, sedangkan alternatif dengan nilai terendah menempati posisi paling rendah dalam peringkat.

Langkah ke-5: Pemberian Bobot pada Kriteria

Untuk menandakan bahwa suatu kriteria lebih penting dari kriteria lainnya bisa dilakukan dengan mengalikan dengan bobot yang sesuai. Dalam penelitian ini perhitungan bobot masing-masing kriteria menggunakan metode AHP (*Analytical Hierarchy Process*). Mengintegrasikan metode ini ke dalam pemberian bobot pada

metode MOORA memberikan cara sistematis untuk menentukan bobot berdasarkan perbandingan berpasangan antara kriteria. Metode perbandingan berpasangan antar masing-masing kriteria dilakukan untuk menilai mana yang lebih penting dan sejauh mana tingkat prioritasnya.

Langkah ke-6. Pemeringkatan alternatif y_i

Urutkan nilai y_i dari yang tertinggi ke terendah. Alternatif dengan nilai y_i tertinggi adalah yang paling optimal berdasarkan bobot dan kriteria. Untuk *multi-objective optimization*, Hasil dari proses normalisasi dalam metode MOORA diperoleh melalui penjumlahan nilai-nilai pada atribut yang bersifat menguntungkan (maksimalisasi), dan pengurangan terhadap nilai-nilai pada atribut yang tidak menguntungkan (minimalisasi).

2.10. Perhitungan AHP (Analytical Hierarchy Process)

Mengintegrasikan metode AHP (*Analytical Hierarchy Process*) ke dalam pemberian bobot pada metode MOORA merupakan pendekatan yang terstruktur dan sistematis untuk menentukan tingkat kepentingan relatif setiap kriteria dalam pengambilan keputusan. Melalui metode ini, perbandingan berpasangan antara kriteria dilakukan untuk menilai mana yang lebih penting dan sejauh mana tingkat prioritasnya.

Sebagai contoh, dalam penelitian ini terdapat antara lain tiga kriteria yang dipertimbangkan, yaitu jumlah erosi, biaya produksi, dan hasil panen. Tidak semua kriteria memiliki bobot yang sama, karena kepentingan masing-masing kriteria dapat berbeda tergantung pada tujuan penelitian. AHP bekerja dengan cara sebagai berikut:

1. Membandingkan kriteria secara berpasangan: Setiap kriteria dibandingkan satu sama lain untuk menentukan tingkat prioritasnya. Misalnya, apakah jumlah erosi lebih penting dibandingkan biaya produksi? Jika ya, sejauh mana tingkat pentingnya? Jawaban ini dinyatakan dalam skala tertentu (misalnya, 1 untuk sama penting, hingga 9 untuk sangat penting).
2. Menghitung bobot kriteria: Hasil dari perbandingan berpasangan ini diolah menggunakan metode AHP untuk menghasilkan bobot masing-masing kriteria. Sebagai ilustrasi, bobot yang dihasilkan mungkin menunjukkan bahwa jumlah erosi memiliki bobot 50%, biaya produksi sebesar 30%, dan hasil panen sebesar 20%.

3. Integrasi bobot dalam MOORA: Bobot yang dihasilkan dari AHP kemudian diintegrasikan dalam perhitungan MOORA. Proses ini memastikan bahwa perhitungan akhir pada MOORA merefleksikan tingkat prioritas yang telah ditentukan sebelumnya, sehingga alternatif dengan skor tertinggi adalah yang paling sesuai dengan prioritas penelitian.

Dengan demikian, penerapan metode AHP dalam pemberian bobot tidak hanya meningkatkan keakuratan, tetapi juga memastikan bahwa keputusan yang dihasilkan berdasarkan MOORA lebih obyektif dan sesuai dengan tujuan penelitian.

2.10.1. Matriks Perbandingan Berpasangan

Matriks perbandingan berpasangan antar kriteria merupakan salah satu langkah dalam penerapan metode AHP (*Analytical Hierarchy Process*). Matriks ini digunakan untuk membandingkan kriteria secara berpasangan guna menentukan tingkat kepentingan relatif setiap kriteria dalam penelitian ini. Nilai perbandingan yang dihasilkan menunjukkan seberapa besar prioritas yang diberikan pada satu kriteria dibandingkan dengan kriteria lainnya, sesuai dengan tujuan penelitian.

Rumus untuk matriks perbandingan berpasangan dalam metode AHP (*Analytical Hierarchy Process*) (persamaan 2.15) adalah:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \frac{w_1}{w_2} & \frac{w_1}{w_3} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & 1 & \frac{w_2}{w_3} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & 1 & \dots & \frac{w_3}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \frac{w_n}{w_3} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

di mana:

1. Diagonal utama bernilai 1: Elemen di sepanjang diagonal utama a_{ii} selalu bernilai 1, karena kriteria dibandingkan dengan dirinya sendiri. $a_{ii} = 1$.
2. Elemen perbandingan antar kriteria: Nilai elemen lainnya a_{ij} adalah rasio tingkat kepentingan kriteria i terhadap kriteria j . Nilai ini ditentukan menggunakan skala perbandingan AHP (1–9), misalnya:
 - 1: Kriteria i sama penting dengan kriteria j
 - 3: Kriteria i sedikit lebih penting dari kriteria j

- 5: Kriteria i lebih penting dari kriteria j
- 7: Kriteria i sangat penting
- 9: Kriteria i mutlak lebih penting

Nilai kebalikan digunakan jika kriteria j lebih penting daripada kriteria i , yaitu:

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$$

Matriks ini digunakan sebagai dasar untuk normalisasi dan perhitungan bobot kriteria dalam metode AHP.

2.10.2. Normalisasi Matriks Perbandingan Berpasangan

Setelah matriks perbandingan berpasangan disusun, langkah selanjutnya adalah melakukan normalisasi matriks untuk menentukan nilai bobot kriteria. Normalisasi dilakukan dengan membagi setiap elemen matriks perbandingan dengan jumlah total nilai pada kolom yang bersangkutan. Proses ini bertujuan untuk menyetarakan skala antar elemen sehingga perhitungan menjadi lebih obyektif.

Rumus yang digunakan dalam normalisasi (2.16) adalah sebagai berikut:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (2.16)$$

di mana:

r_{ij} = Nilai normalisasi untuk elemen baris i dan kolom j .

a_{ij} = nilai elemen matriks perbandingan berpasangan pada baris i dan kolom j .

$\sum_{i=1}^n a_{ij}$ = Jumlah total nilai pada kolom j .

Hasil dari normalisasi ini menghasilkan matriks yang sudah disetarakan untuk perhitungan lebih lanjut.

2.10.3. Perhitungan Bobot Kriteria

Bobot kriteria dalam perhitungan AHP dihitung dengan mengambil rata-rata nilai dari setiap baris pada matriks normalisasi. Rata-rata ini menunjukkan tingkat prioritas atau kepentingan relatif setiap kriteria terhadap tujuan penelitian.

Rumus perhitungan bobot adalah:

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n r_{ij}}{n} \quad (2.17)$$

di mana:

w_i = Bobot kriteria untuk elemen i .

r_{ij} = Nilai normalisasi dari elemen baris i dan kolom j .

n = Jumlah kriteria.

Hasil perhitungan bobot ini akan digunakan sebagai input dalam metode MOORA untuk menentukan alternatif terbaik.

2.10.4. Integrasi Bobot Kriteria ke Metode MOORA

Bobot kriteria yang telah dihitung dari metode AHP kemudian diintegrasikan ke dalam metode MOORA. Bobot ini akan digunakan untuk menimbang nilai normalisasi pada matriks keputusan sehingga alternatif dapat dievaluasi secara lebih akurat berdasarkan prioritas yang telah ditentukan.

Proses integrasi bobot dilakukan dengan cara mengalikan nilai normalisasi (r_{ij}) pada setiap elemen matriks keputusan dengan bobot kriteria (w_j) yang diperoleh dari AHP. Rumus yang digunakan adalah (persamaan 2.18):

$$r'_{ij} = r_{ij} \cdot w_j \quad (2.18)$$

di mana:

r'_{ij} = Nilai normalisasi berbobot.

r_{ij} = Nilai normalisasi matriks keputusan.

w_j = Bobot kriteria hasil dari AHP.

Hasil ini kemudian digunakan dalam langkah optimasi rasio MOORA untuk menentukan nilai terbaik bagi setiap alternatif.

2.11. Hasil Penelitian Terdahulu

Hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan topik penelitian diantaranya adalah seperti tersebut pada **Tabel 2.16**.

Tabel 2.16. Penelitian terdahulu yang relevan.

No.	Judul	Peneliti / Tahun	Hasil Penelitian
1	Pengukuran erosi pada pertanaman kentang dan jagung pada beberapa kemiringan di desa Guru Singa Kabupaten Karo dengan metode USLE	Harahap <i>et al.</i> , 2018	Penelitian menunjukkan bahwa erosi lahan kentang searah kontur dengan kemiringan 0-3% sebesar 4,56 ton/ha/3 bln. (Rendah), sementara pada kemiringan 8-25%, erosi mencapai 112,57-160,97 ton/ha/3 bln. (Sangat Tinggi). Lahan jagung yang ditanami dengan pola memotong kontur mengalami tingkat erosi sebesar 15,61 ton per hektar per tahun pada kemiringan 3–8%, yang termasuk dalam kategori sedang. Sementara itu, pada lereng dengan kemiringan 25–45%, laju erosi meningkat drastis hingga mencapai 106,08 ton per hektar per tahun, yang diklasifikasikan sebagai sangat tinggi.

Tabel 2.16. Penelitian terdahulu yang relevan (lanjutan)

No.	Judul	Peneliti / Tahun	Hasil Penelitian
2	Erosi Pada Pertanaman Kentang Di Tanah Andisol Kecamatan Berastagi KabupatenKaro	Vincencius <i>et al.</i> , 2017	Laju erosi pada pertanaman kentang dengan pola penanaman searah lereng tercatat sebesar 1,30 ton per hektar untuk curah hujan 35 mm dan meningkat menjadi 1,83 ton per hektar pada curah hujan 36 mm. Sementara itu, erosi pada pertanaman kentang yang ditanam dengan arah memotong lereng menunjukkan nilai yang lebih rendah, yaitu sebesar 0,21 dan 0,25 ton/ha. Produksi kentang pada pertanaman yang searah lereng adalah 143,3 kg/plot dan pada pertanaman yang memotong lereng adalah 90,7 kg/plot
3	<i>Diversity of vegetable landraces in the Pampa biome of Brazil and Uruguay: utilization and conservation strategies</i>	Rivas <i>et al.</i> , 2023	Artikel ini menyoroti pentingnya melakukan survei secara sistematis serta merancang strategi konservasi untuk memantau erosi genetik pada tanaman kentang

Tabel 2.16. Penelitian terdahulu yang relevan (lanjutan)

No.	Judul	Peneliti / Tahun	Hasil Penelitian
			Selain itu, artikel ini menegaskan bahwa meningkatkan keterpaduan antara metode konservasi in situ (di lokasi atau di lahan petani) dan exsitu (di luar lokasi atau melalui koleksi genetik) merupakan langkah krusial dalam upaya pelestarian keragaman genetik kentang maupun varietas lokal sayuran lainnya.
4	Penggunaan Sistem Informasi Geografis Dan Penginderaan Jauh Dalam Mengukur Tingkat Bahaya Erosi Di Kawasan	Sukristiyan ti & Mulyono, 2013	Peningkatan luas wilayah dengan tingkat bahaya erosi (TBE) sangat berat dipengaruhi oleh bertambahnya area penggunaan lahan berupa tegalan sebesar 1,9% dan permukiman sebesar 1,3%. Oleh karena itu, pengendalian alih fungsi lahan menjadi langkah strategis yang diperlukan untuk menekan perluasan

Tabel 2.16. Penelitian terdahulu yang relevan (lanjutan)

No.	Judul	Peneliti / Tahun	Hasil Penelitian
			wilayah dengan potensi erosi tinggi.
5	<i>Optimization of land use of agricultural farms in Sumedang regency by using linear programming models</i>	Zenis <i>et al.</i> , 2018	Pendapatan yang diperoleh oleh petani IDR 2.682.020.000.000,-/3 bln., jika petani menanam beras, jagung, kedelai, dan kacang tanah dengan ukuran lahan berikut: 135.314 ha area padi, 11.798 ha area jagung, 2.290 ha daerah kedelai, dan 2.818 ha kacang tanah.
6	Analisis Harga Pokok Produksi Usaha tani Bawang merah Berdasarkan Luas Lahan Desa Fatuneno Kabupaten Timor Tengah Utara	Kono & Sipayung, 2020	Penetapan harga pokok produksi dilakukan dengan mempertimbangkan seluruh komponen biaya produksi, yang meliputi biaya bahan baku, biaya tenaga kerja langsung, serta biaya overhead pabrik, baik yang bersifat variabel maupun tetap. Berdasarkan hasil penelitian, harga pokok produksi bawang putih yang dihitung menggunakan metode <i>full costing</i> di Desa Fatuneno

Tabel 2.15. Penelitian terdahulu yang relevan (lanjutan).

No.	Judul	Peneliti / Tahun	Hasil Penelitian
			menunjukkan bahwa pada lahan dengan luas terkecil, biaya mencapai Rp78.791 per kilogram sedangkan pada lahan dengan luas terbesar tercatat sebesar Rp28.921 per kilogram. Secara rata-rata, harga pokok produksi berada pada angka Rp59.754 per kilogram.
7	<i>Economic Analysis of Potato Production in Sindh Pakistan</i>	Noonari <i>et al.</i> , 2016	Petani kentang dengan pendapatan kotor rata-rata per acre Rs. 140390,00 dan total pengeluaran adalah Rs. 76917,00 di daerah Khairpur sehingga diperoleh rasio input-output 1:1,82
8	<i>Application of the modified universal soil loss equation (MUSLE) in prediction of sediment yield (Case study: Kengir Watershed, Iran)</i>	Arekhi <i>et al.</i> , 2012	Kekuatan model MUSLE terletak pada kemampuannya untuk langsung memperkirakan potensi pengiriman sedimen dari erosi tanah. Ini merupakan alat yang sangat berguna untuk pengelolaan lingkungan dan sangat dibutuhkan untuk

Tabel 2.15. Penelitian terdahulu yang relevan (lanjutan).

No.	Judul	Peneliti / Tahun	Hasil Penelitian
			karakterisasi sumber-sink, yaitu sumber daratan dan tempat penampungan di perairan bagi partikel-partikel padat.
9	Prediksi laju erosi pada lahan diolah dan lahan tanpa diolah di	(Hasriyani Asti N.A & Firkawati, 2014)	Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju erosi pada lahan yang diolah tercatat sebesar 18,70 ton per hektar per tahun untuk pertanaman wortel dan 9,82 ton per hektar per tahun untuk lahan kentang. Sementara itu, pada lahan yang tidak diolah, laju erosi jauh lebih rendah, yaitu sebesar 4,15 ton per hektar per tahun pada lahan rumput.
10	<i>Soil Loss Estimation through MUSLE Equation using RS and GIS techniques in Neemahosalli sub-watershed</i>	Kayet <i>et al.</i> , 2018	Penelitian dengan model MUSLE menunjukkan kehilangan tanah 92,80 t/ha dan 62,917 t/ha berdasarkan waktu konsentrasi Kirpich dan Williams. Lokasi mengalami erosi berat dengan laju 50-100 t/ha per tahun untuk pertanaman

Tabel 2.15. Penelitian terdahulu yang relevan (lanjutan).

No.	Judul	Peneliti / Tahun	Hasil Penelitian
			wortel dan 9,82 ton per hektar per tahun untuk lahan kentang. Sementara itu, pada lahan yang tidak diolah, laju erosi jauh lebih rendah, yaitu sebesar 4,15 ton per hektar per tahun pada lahan rumput.
11	<i>Multi-objective optimization and design of farming systems</i>	Groot <i>et al.</i> , 2012	Hasil model menunjukkan adanya transaksi jual beli antar tujuan dan mengidentifikasi konfigurasi pertanian alternatif yang lebih baik dibandingkan dengan pertanian awal. Modifikasi kecil pada konfigurasi lahan menghasilkan dampak besar.
12	<i>Multi-objective optimization of smallholder apple production: Lessons from the Bohai Bay region</i>	Jiang <i>et al.</i> , 2020	Studi menunjukkan bahwa optimasi multiobyektif dapat dicapai pada skala petani kecil melalui perubahan dalam praktik hortikultura terpadu, serta membantu mengidentifikasi hambatan dan strategi untuk produksi apel yang berkelanjutan.

Tabel 2.15. Penelitian terdahulu yang relevan (lanjutan).

No.	Judul	Peneliti / Tahun	Hasil Penelitian
13	<i>Application Of Multi-Objective Genetic Algorithms For Optimization Of Energy, Economics And Environmental Life Cycle Assessment In Oilseed Production</i>	Mousavi-Avval <i>et al.</i> , 2017	Dalam studi ini, algoritma genetika multiobyektif (MOGA) diterapkan untuk menemukan kombinasi terbaik dari energi, ekonomi, dan indeks lingkungan dalam produksi canola. Penelitian ini menyoroti manfaat penerapan MOGA dalam sistem produksi pertanian untuk menemukan kombinasi optimal dari penggunaan energi, keuntungan ekonomi, dan dampak lingkungan, dengan tujuan mencapai produksi yang efisien dan berkelanjutan dan meningkatkan produktivitas pertanian."
14	Pengukuran Langsung Erosi dengan Perangkap Sedimen dan Analisis Pola penanaman	Gong <i>et al.</i> , 2018	Penelitian ini memberikan dasar ilmiah bagi petani dan pembuat kebijakan dalam mengoptimalkan strategi pengelolaan lahan untuk mengurangi erosi dan

Tabel 2.15. Penelitian terdahulu yang relevan (lanjutan)

No.	Judul	Peneliti / Tahun	Hasil Penelitian
15	Penerapan Natural-Based Solutions (NBS) untuk Konservasi Tanah di Pertanian Kentang	Aprillia <i>et al.</i> , 2024	Penelitian ini mengeksplorasi penerapan Natural-Based Solutions (NBS) untuk mengurangi degradasi tanah pada pertanian kentang. Studi ini mengidentifikasi berbagai teknik konservasi potensial, tetapi tidak mencakup pengukuran erosi secara langsung
16	Peran Kearifan Lokal dalam Mitigasi Erosi di Lahan Pertanian	Lestari <i>et al.</i> , 2019	Penelitian ini menyoroti bagaimana kearifan lokal berperan dalam mitigasi erosi di lahan pertanian melalui metode konservasi tradisional. Namun, studi ini tidak menggunakan pendekatan eksperimental untuk menilai efektivitas metode tersebut terhadap pola penanaman tertentu.
17	Dampak Konversi Lahan di Dataran Tinggi Dieng terhadap Laju Erosi	Ningrum <i>et al.</i> , 2024	Studi observasional ini mengungkap bahwa konversi lahan di Dataran Tinggi Dieng mempercepat laju erosi secara signifikan. Namun, penelitian ini lebih berfokus pada penilaian

Tabel 2.15. Penelitian terdahulu yang relevan (lanjutan)

No.	Judul	Peneliti / Tahun	Hasil Penelitian
			dampak lingkungan daripada eksperimen terkontrol.
18	Efektifitas Pembuatan Tanaman Vegetatif dalam Menanggulangi Erosi dan Sedimentasi (Studi Kasus di Daerah Aliran Sungai Limboto Provinsi Gorontalo)	Dunggio & Ichsan, 2022	Penelitian ini membandingkan berbagai teknik konservasi tanah dan menemukan bahwa pengelolaan berbasis kontur lebih efektif dalam mengurangi limpasan air dan erosi dibandingkan dengan pola penanaman yang sejajar lereng. Namun, studi ini tidak secara spesifik meneliti dampak pola penanaman dalam sistem pertanian monokultur kentang dan bawang merah.
19	Keragaan dan dampak penerapan sistem usaha tani konservasi terhadap tingkat produktivitas lahan perbukitan Yogyakarta	Id <i>et al.</i> , 2003	Penerapan sistem usahatani konservasi di perbukitan Yogyakarta menurunkan erosi hingga 64% dan meningkatkan produktivitas serta pendapatan petani hingga 190%.

Tabel 2.15. Penelitian terdahulu yang relevan (lanjutan)

No.	Judul	Peneliti / Tahun	Hasil Penelitian
20	Analisis Ekonomi terhadap Adopsi Teknik Konservasi oleh Petani	Pratiwi <i>et al.</i> , 2016	Analisis ekonomi ini menyoroti faktor finansial yang mempengaruhi adopsi teknik konservasi oleh petani. Studi ini tidak mencakup pengukuran erosi secara langsung.
21	Perubahan Penggunaan Lahan dan Dampaknya terhadap Erosi di Lahan Kentang	Rudiarto & Doppler, 2013	Penelitian ini menunjukkan bahwa pertanian kentang mempercepat erosi, namun hasil yang diperoleh didasarkan pada analisis spasial, bukan pengukuran lapangan langsung.
22	Sistem Agroforestri Berbasis Carica dan Potensinya	Pradana <i>et al.</i> , 2015	Penelitian ini menemukan bahwa sistem agroforestri berbasis Carica menghasilkan tingkat erosi yang lebih rendah dibandingkan dengan pertanian monokultur kentang. Hasil penelitian ini diperoleh menggunakan estimasi Universal Soil Loss Equation (USLE).

Tabel 2.15. Penelitian terdahulu yang relevan (lanjutan).

No.	Judul	Peneliti / Tahun	Hasil Penelitian
23	Pengukuran Langsung Erosi dengan Perangkap Sedimen dan Analisis Pola penanaman	Zhao <i>et al.</i> , 2018	Penelitian ini menggunakan pendekatan pengukuran langsung dengan perangkap sedimen, perhitungan konsentrasi sedimen, dan analisis statistik (korelasi Pearson dan uji-t) untuk membandingkan pola penanaman searah kontur dan searah lereng. Hasilnya memberikan dasar ilmiah bagi petani dan pembuat kebijakan dalam mengoptimalkan strategi pengelolaan lahan untuk mengurangi erosi dan meningkatkan produktivitas pertanian.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa budidaya tanaman semusim seperti kentang dan jagung di lahan berlereng meningkatkan risiko erosi, terutama jika tidak disertai dengan teknik konservasi tanah. Penelitian oleh Harahap *et al.* (2018), Vincencius *et al.* (2017), dan Hasriyani & Firkawati (2014) menunjukkan bahwa pola penanaman tegak lurus kontur menghasilkan erosi yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan pola searah kontur. Upaya konservasi tanah, seperti pengolahan berbasis kontur dan penggunaan tanaman penutup, terbukti dapat menurunkan laju erosi hingga mencapai tingkat yang lebih aman (Gao dan Zhao, 2018).

Dari sisi optimasi, penelitian oleh Groot *et al.* (2012), Jiang *et al.* (2020), dan Mousavi *et al.* (2017) menekankan pentingnya pendekatan multiobyektif dalam merancang sistem pertanian yang seimbang secara ekonomi dan lingkungan. Model

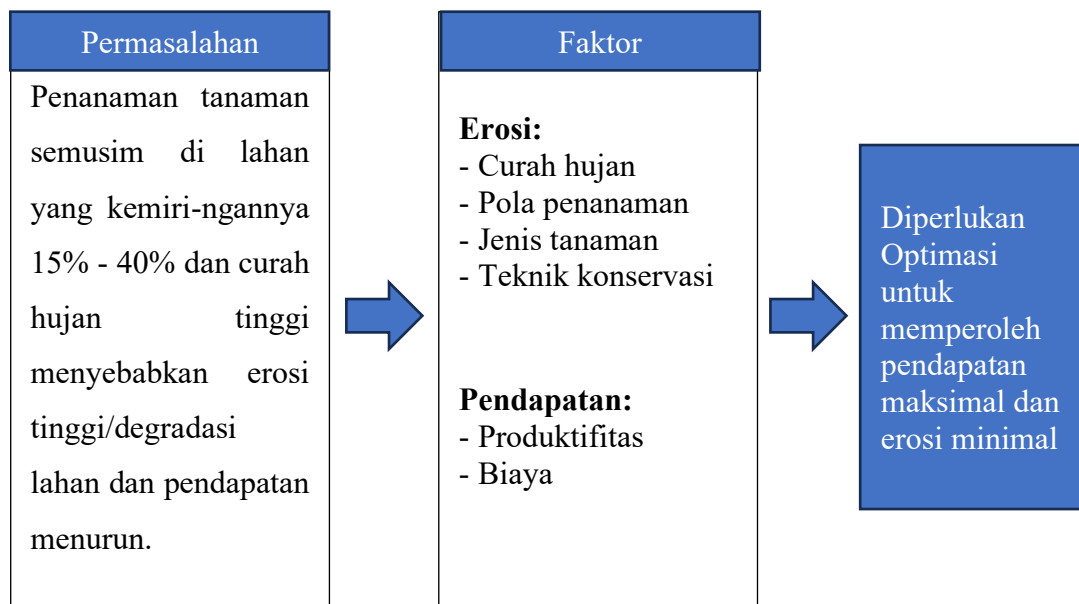
optimasi seperti MOORA dan algoritma genetika multiobyektif telah digunakan untuk menentukan pola penanaman terbaik yang memaksimalkan pendapatan dan meminimalkan dampak lingkungan. Penelitian oleh Zenis *et al.* (2018) dan Pratiwi *et al.* (2016) juga memperkuat pentingnya perencanaan pemanfaatan lahan dan strategi konservasi yang mempertimbangkan aspek ekonomi agar penerapan oleh petani menjadi lebih efektif dan berkelanjutan.

2.12. Kerangka Pikir Penelitian

Usaha tani kentang dan bawang merah di wilayah penelitian memanfaatkan input produksi yang serupa, meliputi lahan, benih unggul, pupuk, pestisida, serta tenaga kerja terampil yang digunakan secara optimal pada setiap tahapan produksi mulai dari pengolahan tanah hingga panen. Meskipun menggunakan sumber daya yang sama, karakteristik dan pola penggunaan input berbeda sesuai kebutuhan masing-masing tanaman. Pada bawang merah, pupuk organik, Urea, ZA, dan pestisida seperti Supernova, Despas, Matindo, dan lainnya digunakan secara spesifik, demikian pula pada kentang yang menyesuaikan penggunaan pestisida sesuai serangan hama dan penyakit di lapangan.

Selain itu, pola penanaman yang diterapkan baik searah kontur maupun tegak lurus kontur memiliki peran penting dalam mempengaruhi hasil produksi dan tingkat erosi lahan. Pola searah kontur cenderung memberikan keuntungan dalam menjaga kestabilan tanah dan meningkatkan hasil panen, sementara pola tegak lurus kontur lebih efektif dalam menekan erosi meskipun dengan potensi hasil yang sedikit berbeda. Kontribusi dari jenis tanaman kentang dan bawang merah dalam pola penanaman ini dievaluasi secara terpadu untuk mengoptimalkan manfaat ekonomi sekaligus konservasi lahan.

Permasalahan yang muncul adalah bagaimana penggunaan sumber daya tersebut dan pola penanaman yang diterapkan berpengaruh terhadap hasil produksi baik secara kuantitas maupun kualitas (**Gambar 2.3.**), serta kelayakan ekonomi dari usaha tani tersebut. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis biaya usaha tani berupa perhitungan pendapatan netto, gross margin, dan rasio R/C untuk menilai kelayakan dan keuntungan usaha tani kentang dan bawang merah dengan mempertimbangkan pola penanaman tersebut.



Gambar 2.3. Kerangka Pikir Penelitian

Selanjutnya, hasil analisis ekonomi ini menjadi dasar untuk model optimasi multiobjektif yang bertujuan menemukan pola penanaman dan jenis tanaman optimal yang mampu memaksimalkan pendapatan hasil pertanian sekaligus meminimalkan risiko erosi lahan. Pendekatan ini mengintegrasikan aspek ekonomi dan lingkungan sebagai landasan perencanaan usaha tani yang berkelanjutan.

Kerangka pikir penelitian ini berfokus pada pemanfaatan sumber daya produksi yang optimal, evaluasi kelayakan ekonomi usaha tani kentang dan bawang merah, serta penerapan model optimasi multiobjektif untuk menghasilkan rekomendasi pola penanaman baik searah kontur maupun tegak lurus kontur dan jenis tanaman yang efisien dan ramah lingkungan.

2.12.1. Kesarb cakupan Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya telah banyak mengkaji erosi pada lahan pertanian dengan berbagai metode, termasuk USLE dan MUSLE, serta faktor-faktor yang memengaruhi erosi seperti topografi, curah hujan, dan penggunaan lahan. Selain itu, beberapa studi telah menerapkan optimasi multiobjektif dalam pertanian hortikultura, seperti produksi apel dan minyak biji-bijian. Namun, belum ada penelitian yang secara spesifik mengoptimalkan pola penanaman kentang dan bawang merah di lahan dataran tinggi dengan mempertimbangkan tingkat erosi dan

pendapatan petani secara bersamaan inilah yang menjadi gap penelitian ini dengan penelitian terdahulu.

2.12.2. State of the Art

Pendekatan terkini dalam optimasi pertanian menggunakan metode *Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis* (MOORA) telah digunakan dalam beberapa studi untuk mencari keseimbangan antara produksi dan dampak lingkungan. Selain itu, pemanfaatan data empiris dari pengukuran erosi dan hasil panen nyata telah diintegrasikan ke dalam model optimasi.

Sebagaimana diuraikan pada Sub Bab **2.10**, sejumlah studi metode optimasi seperti MOORA dan algoritma genetika multiobyektif telah banyak diterapkan untuk mengidentifikasi pola penanaman yang optimal, dengan tujuan meningkatkan pendapatan petani sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Selain itu, penelitian oleh Zenis *et al.* (2018) dan Pratiwi *et al.* (2016) turut menyoroti urgensi perencanaan pemanfaatan lahan dan pengembangan strategi konservasi yang tidak hanya mempertimbangkan efisiensi ekonomi, tetapi juga menjamin keberlanjutan praktik pertanian di tingkat petani.

2.12.3. Gap Penelitian

Meskipun ada banyak studi tentang optimasi pertanian dan mitigasi erosi, belum ada pendekatan yang secara eksplisit menggabungkan metode MOORA dengan analisis ekonomi petani berbasis data empiris. Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan mengusulkan model optimasi pola penanaman kentang dan bawang merah yang tidak hanya mempertimbangkan produktivitas dan keuntungan ekonomi, tetapi juga dampak erosi pada lahan pertanian.

2.12.4. Roadmap Penelitian Menuju Tercapainya Tujuan

1. Identifikasi Permasalahan

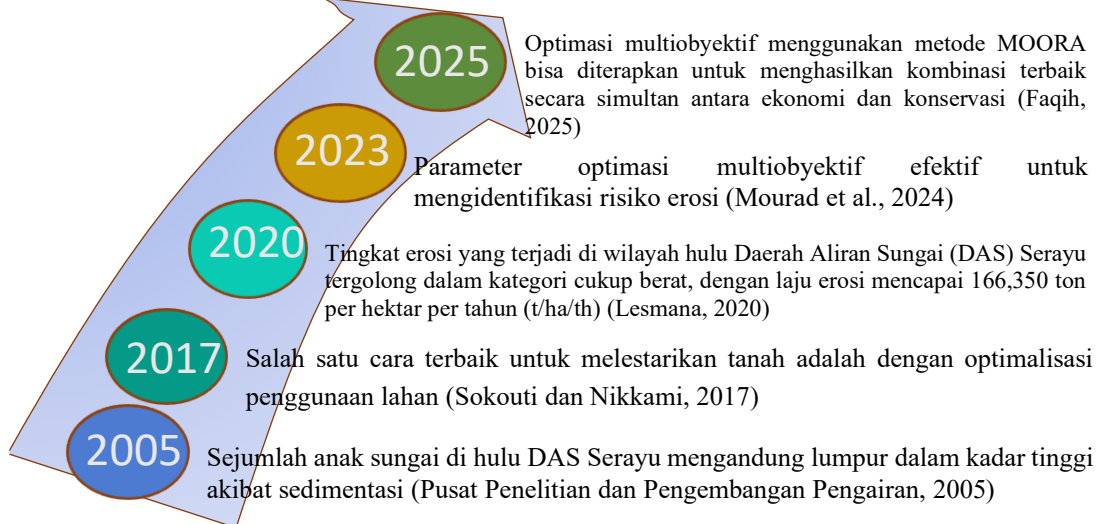
- Analisis tingkat erosi dan dampak pola penanaman di Dataran Tinggi Dieng.
- Evaluasi produktivitas kentang dan bawang merah serta pendapatan petani.

2. Optimasi Pola penanaman

- Penerapan metode MOORA untuk menentukan pola penanaman optimal.
- Analisis yang tidak bisa dipisahkan antara hasil panen, biaya, dan erosi tanah.

3. Validasi dan Rekomendasi

- Verifikasi hasil dengan data empiris dari pengukuran lapangan.
- Penyusunan rekomendasi pola penanaman yang optimal untuk keseimbangan ekonomi dan konservasi lahan.



Gambar 2. 4. Road Map Penelitian

Gambar 2.4 menunjukkan perkembangan atau tonggak penting dalam rentang waktu 2005–2023, yang divisualisasikan dalam bentuk panah naik. Setiap lingkaran mewakili tahun tertentu yang menandai fase atau perubahan penting dalam evolusi sistem/teknologi/inovasi yang dimaksud.