

BAB III.

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Pendekatan dan Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan metode campuran (mixed-methods) dengan paradigma pragmatisme yang mengintegrasikan pendekatan kuantitatif dan kualitatif untuk menghasilkan pemahaman yang komprehensif tentang fenomena adopsi teknologi PHT dalam konteks agribisnis sayuran dataran rendah. Pendekatan metode campuran dipilih karena kompleksitas pertanyaan penelitian yang memerlukan baik analisis statistik untuk mengukur hubungan maupun wawasan penjelasan untuk memahami mekanisme dasar dan faktor kontekstual. Paradigma pragmatis memungkinkan peneliti untuk menggunakan berbagai metode yang paling sesuai untuk mengatasi tujuan penelitian spesifik, tanpa terikat pada kendala filosofis dari pendekatan paradigma tunggal. Integrasi data kuantitatif dan kualitatif memberikan triangulasi yang meningkatkan validitas dan reliabilitas temuan sambil memberikan pemahaman yang lebih kaya tentang fenomena adopsi (Creswell & Plano Clark, 2017; Johnson & Onwuegbuzie, 2004).

1. Desain Sekuensial Penjelasan

Penelitian ini mengadopsi desain metode campuran sekuensial penjelasan dimana pengumpulan dan analisis data kuantitatif dilakukan dalam fase pertama, diikuti oleh pengumpulan dan analisis data kualitatif dalam fase kedua untuk menjelaskan atau menguraikan temuan kuantitatif. Waktu sekuensial memungkinkan hasil kuantitatif untuk memandu pengumpulan data kualitatif, memastikan bahwa komponen kualitatif mengatasi pertanyaan paling penting yang dimunculkan oleh analisis statistik. Prioritas diberikan kepada komponen kuantitatif karena pertanyaan penelitian utama fokus pada mengukur tingkat adopsi, mengidentifikasi determinan, dan menilai dampak, sementara komponen kualitatif memberikan penjelasan untuk temuan yang tidak terduga, mengeksplorasi mekanisme yang mendasari hubungan yang diamati, dan memberikan pemahaman kontekstual (Creswell & Plano Clark, 2017).

Integrasi terjadi pada berbagai titik sepanjang proses penelitian: selama pengumpulan data dimana instrumen kualitatif diperoleh dari temuan kuantitatif, selama analisis dimana data kualitatif membantu menginterpretasikan hasil statistik, dan selama pelaporan dimana kedua jenis bukti disajikan bersama untuk kesimpulan komprehensif. Strategi koneksi melibatkan penggunaan hasil kuantitatif untuk mengidentifikasi kasus spesifik, outlier, atau pola yang memerlukan investigasi kualitatif. Temuan kuantitatif juga menghasilkan hipotesis atau pertanyaan yang dapat dieksplorasi melalui metode kualitatif (Tashakkori & Teddlie, 2010).

2. Desain Survei Cross-sectional

Komponen kuantitatif menggunakan desain survei cross-sectional dengan pengumpulan data pada satu titik waktu di berbagai sampel petani sayuran yang beragam. Desain cross-sectional dipilih karena kendala praktis dan keterbatasan sumber daya yang mencegah pengumpulan data longitudinal, meskipun diakui bahwa adopsi adalah proses dinamis yang idealnya memerlukan data temporal. Pertanyaan retrospektif tentang waktu adopsi, pengalaman dengan praktik PHT, dan perubahan yang dipersepsikan seiring waktu membantu menangkap beberapa dimensi temporal dalam kerangka cross-sectional. Analisis komparatif antara adopter dan non-adopter memberikan wawasan tentang dampak adopsi, meskipun inferensi kausal memerlukan perhatian yang cermat terhadap bias seleksi dan faktor pengganggu (Babbie, 2015).

Desain survei menggabungkan elemen penelitian survei analitis dengan fokus pada pengujian hipotesis dan inferensi kausal daripada tujuan yang murni deskriptif. Kuesioner terstruktur menyediakan pengumpulan data yang terstandarisasi di seluruh sampel besar, memungkinkan analisis statistik hubungan antara variabel. Sampling acak memastikan representativitas populasi target, sementara stratifikasi memungkinkan representasi yang memadai dari subkelompok penting. Protokol administrasi survei memastikan kualitas data melalui pelatihan enumerator, pra-testing, dan prosedur kontrol kualitas selama kerja lapangan (Fowler, 2013).

3. Komponen Studi Kasus

Komponen kualitatif menggunakan desain studi kasus ganda untuk memberikan pemahaman mendalam tentang proses adopsi, pengalaman implementasi, dan faktor kontekstual yang mempengaruhi keberhasilan atau kegagalan adopsi PHT. Studi kasus dipilih secara purposif untuk mewakili pola adopsi yang berbeda (adopter sukses, adopter parsial, non-adopter), jenis petani yang berbeda (usahatani besar vs kecil, petani berpengalaman vs petani baru), dan konteks yang berbeda (desa yang berbeda, jenis tanaman, orientasi pasar). Setiap studi kasus melibatkan berbagai sumber data termasuk wawancara mendalam, observasi langsung, analisis dokumen, dan kemungkinan diskusi kelompok terfokus (Yin, 2017).

Protokol studi kasus memastikan pengumpulan data yang sistematis di berbagai kasus sambil memungkinkan fleksibilitas untuk mengeksplorasi aspek unik dari setiap kasus. Analisis dalam-kasus mengidentifikasi pola, tema, dan mekanisme kausal yang spesifik untuk setiap kasus, sementara analisis lintas-kasus mencari pola umum dan perbedaan di berbagai kasus. Sampling teoritis memandu pemilihan kasus untuk memaksimalkan pembelajaran dan pengembangan teori daripada representativitas statistik. Integrasi dengan temuan kuantitatif membantu mengidentifikasi kasus mana yang memberikan wawasan paling berharga untuk menjelaskan hasil survei (Eisenhardt, 1989).

4. Elemen Kuasi-eksperimental

Meskipun desain eksperimental sejati tidak layak dalam penelitian adopsi pertanian, penelitian ini menggabungkan elemen kuasi-eksperimental untuk memperkuat inferensi kausal. Logika eksperimen alami membandingkan petani yang mengadopsi PHT dengan mereka yang tidak, memperlakukan status adopsi sebagai penugasan perlakuan kuasi. Propensity score matching akan digunakan untuk menciptakan kelompok perbandingan yang cocok yang serupa dalam karakteristik yang diamati tetapi berbeda dalam status adopsi. Pendekatan ini membantu mengontrol bias seleksi dan memberikan estimasi yang lebih kredibel dari dampak adopsi (Rosenbaum & Rubin, 1983).

Pendekatan variabel instrumental dapat dieksplorasi jika instrumen yang sesuai dapat diidentifikasi. Instrumen potensial mencakup jarak ke kantor penyuluhan, waktu pengenalan program penyuluhan, atau perubahan kebijakan eksogen yang mempengaruhi insentif adopsi tetapi tidak secara langsung mempengaruhi hasil. Validitas instrumen memerlukan justifikasi yang cermat berdasarkan pengetahuan institusional dan pengujian empiris. Pendekatan difference-in-differences mungkin layak jika data tentang kondisi pra-adopsi dapat dikumpulkan melalui recall atau sumber sekunder (Angrist & Pischke, 2008).

5. Pertimbangan Temporal

Meskipun sifat cross-sectional dari pengumpulan data utama, penelitian ini menggabungkan pertimbangan temporal melalui beberapa mekanisme. Pertanyaan retrospektif menangkap informasi tentang waktu adopsi, urutan adopsi di berbagai komponen PHT, perubahan dalam praktik seiring waktu, dan evolusi manfaat atau tantangan yang dipersepsikan. Pendekatan riwayat hidup dalam wawancara kualitatif mengeksplorasi bagaimana pengalaman petani dengan PHT berkembang seiring waktu dan faktor apa yang mempengaruhi persistensi atau modifikasi praktik (McAdams et al., 2006).

Analisis kohort membandingkan petani yang mengadopsi PHT pada waktu yang berbeda untuk memahami bagaimana pengalaman adopsi mungkin berubah dengan kematangan program, pengembangan pasar, atau faktor temporal lainnya. Analisis durasi menguji faktor-faktor yang mempengaruhi waktu untuk adopsi di antara petani yang akhirnya mengadopsi PHT. Elemen data panel dapat dimasukkan jika beberapa petani dapat diwawancarai ulang setelah survei awal untuk melacak perubahan seiring waktu, meskipun ini akan memerlukan sumber daya tambahan dan timeline yang diperpanjang (Allison, 2014).

3.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Kabupaten Sidoarjo dipilih sebagai lokasi penelitian berdasarkan berbagai kriteria yang membuatnya menjadi lokasi ideal untuk mempelajari adopsi PHT

dalam sistem produksi sayuran. Kriteria pemilihan meliputi: (1) Signifikansi dalam produksi sayuran regional dengan kontribusi yang substansial terhadap pasokan sayuran Jawa Timur; (2) Keragaman dalam sistem pertanian, jenis petani, dan orientasi pasar yang memberikan variasi yang diperlukan untuk analisis komprehensif; (3) Aksesibilitas untuk tim peneliti dan ketersediaan data sekunder dari lembaga pemerintah; (4) Paparan sebelumnya terhadap program PHT melalui layanan penyuluhan, menciptakan variasi alami dalam status adopsi; (5) Kedekatan dengan pasar perkotaan yang menciptakan insentif untuk perbaikan kualitas dan praktik berkelanjutan; (6) Representativitas dari sistem produksi sayuran Jawa Timur yang lebih luas, memungkinkan generalisasi temuan (Miles & Huberman, 1994).

Karakteristik geografis Kabupaten Sidoarjo meliputi topografi datar dengan ketinggian berkisar dari 0-25 meter di atas permukaan laut, iklim tropis dengan musim hujan dan kering yang berbeda, dan tanah aluvial yang cocok untuk produksi sayuran intensif. Total area 634,89 km² meliputi 19.006 hektar lahan pertanian dengan 1.562 hektar didedikasikan untuk produksi sayuran. Struktur administratif meliputi 18 kecamatan dengan 322 desa dan 31 kelurahan perkotaan. Kepadatan penduduk sekitar 3.200 orang per km² menciptakan tekanan lahan yang mendorong sistem pertanian intensif (BPS Kabupaten Sidoarjo, 2023).

Penelitian menggunakan pendekatan sampling berstrata untuk memilih lokasi penelitian spesifik dalam Kabupaten Sidoarjo. Stratifikasi primer berdasarkan intensitas produksi sayuran mengidentifikasi lima kecamatan dengan produksi sayuran tertinggi: Sidoarjo, Candi, Tulangan, Wonoayu, dan Krembung. Kecamatan-kecamatan ini secara kolektif menyumbang sekitar 70% dari total produksi sayuran dalam kabupaten dan mewakili sistem pertanian yang berbeda, kondisi akses pasar, dan paparan historis terhadap program penyuluhan. Stratifikasi sekunder dalam setiap kecamatan berdasarkan aksesibilitas, keragaman sistem pertanian, dan kesediaan untuk berpartisipasi memastikan representasi yang memadai dari berbagai jenis petani (Cochran, 1977).

Pemilihan tingkat desa dalam setiap kecamatan menggunakan sampling purposif untuk memastikan representasi yang memadai dari faktor kontekstual penting. Desa yang dipilih meliputi campuran:

1. Desa dengan paparan tinggi, sedang, dan rendah terhadap program penyuluhan;
2. Desa dengan kondisi akses pasar yang berbeda (dekat atau jauh dari pasar utama);
3. Desa dengan karakteristik sistem pertanian yang berbeda (monokultur vs diversifikasi, komersial vs semi-subsisten);
4. Desa dengan karakteristik sosial yang berbeda (homogen vs heterogen, organisasi sosial yang kuat vs lemah).

Total 15 desa dipilih di lima kecamatan, dengan 3 desa per kecamatan yang mewakili kombinasi karakteristik yang berbeda (Patton, 2014).

Kecamatan Sidoarjo mewakili sistem produksi peri-urban dengan kedekatan dekat dengan pasar Surabaya, nilai lahan tinggi, sistem pertanian intensif, dan petani yang relatif berpendidikan. Produksi sayuran fokus pada sayuran daun dan tanaman musim pendek yang dapat dipanen sering untuk pasar harian. Karakteristik petani meliputi rata-rata ukuran usahatani yang lebih kecil (0,2-0,5 ha), tingkat pendidikan yang lebih tinggi, akses pasar yang lebih baik, dan orientasi yang lebih komersial. Paparan penyuluhan relatif tinggi melalui berbagai program pemerintah dan inisiatif LSM.

Kecamatan Candi mewakili zona transisi antara karakteristik perkotaan dan pedesaan, dengan akses pasar sedang dan sistem pertanian campuran. Produksi sayuran meliputi baik sayuran daun maupun sayuran buah dengan beberapa peluang pengolahan. Ukuran usahatani berkisar dari 0,3-0,8 hektar dengan tingkat komersialisasi sedang. Paparan penyuluhan sedang dengan beberapa aktivitas sekolah lapang petani dalam tahun-tahun terakhir. Organisasi sosial meliputi kelompok tani aktif dengan tingkat efektivitas yang bervariasi.

Kecamatan Tulangan mewakili sistem produksi yang lebih pedesaan dengan jarak sedang dari pasar utama, ukuran usahatani yang lebih besar (0,5-1,2 ha), dan praktik pertanian tradisional. Produksi sayuran meliputi varietas tanaman yang lebih luas dengan beberapa fokus pada tomat dan cabai pengolahan. Petani

cenderung lebih konservatif dalam adopsi teknologi tetapi memiliki sistem pengetahuan tradisional yang kuat. Paparan penyuluhan terbatas pada program pemerintah dengan pola kontak yang tidak teratur.

Kecamatan Wonoayu mewakili area transisi dataran tinggi dengan ketersediaan air yang baik, sistem pertanaman yang beragam, dan akses pasar sedang. Ukuran usahatani bervariasi luas dari 0,4-2,0 hektar dengan campuran orientasi komersial dan subsisten. Produksi sayuran meliputi baik varietas tradisional maupun varietas unggul dengan beberapa inisiatif pertanian organik. Paparan penyuluhan meliputi baik program pemerintah maupun inisiatif sektor swasta melalui perusahaan agribisnis.

Kecamatan Krembung mewakili area pesisir dengan kondisi tanah yang unik, tantangan manajemen air, dan sistem produksi sayuran khusus. Ukuran usahatani cenderung lebih besar (0,8-2,5 ha) dengan fokus pada tanaman bernilai tinggi untuk ekspor dan pasar perkotaan. Petani cenderung lebih inovatif dan berorientasi pasar tetapi menghadapi tantangan teknis dari salinitas tanah dan variabilitas iklim. Paparan penyuluhan meliputi program khusus untuk produksi sayuran bernilai tinggi (Dinas Pertanian Kabupaten Sidoarjo, 2023).

Penelitian dilaksanakan selama 18 bulan dari Januari 2024 hingga Juni 2025, mencakup berbagai fase pengumpulan dan analisis data. Fase 1 (Januari-Maret 2024) melibatkan aktivitas pendahuluan termasuk tinjauan literatur, konsultasi pemangku kepentingan, pengembangan instrumen, dan uji coba. Fase 2 (April-September 2024) merupakan fase pengumpulan data kuantitatif utama, dijadwalkan untuk menangkap aktivitas pertanian di berbagai musim dan siklus tanaman. Fase 3 (Oktober 2024-Januari 2025) melibatkan analisis data kuantitatif dan persiapan untuk pengumpulan data kualitatif. Fase 4 (Februari-April 2025) merupakan fase pengumpulan data kualitatif, dengan studi kasus dan wawancara mendalam. Fase 5 (Mei-Juni 2025) melibatkan integrasi temuan, analisis akhir, dan persiapan laporan.

Waktu pengumpulan data mempertimbangkan pola musiman dalam produksi sayuran, kondisi pasar, dan ketersediaan petani. Survei utama dilakukan selama musim kering (April-September) ketika petani memiliki ketersediaan waktu

yang lebih banyak dan akses transportasi lebih mudah. Waktu ini juga menangkap pengalaman dari produksi musim hujan terbaru sementara ingatan petani masih segar. Wawancara kualitatif dijadwalkan selama periode pertanian yang kurang intensif untuk memastikan waktu yang memadai untuk diskusi mendalam. Kunjungan berulang dalam musim yang berbeda membantu menangkap variasi musiman dalam praktik pertanian dan hasil (Pretty, 1995).

Implementasi penelitian memerlukan koordinasi dengan berbagai institusi lokal termasuk Dinas Pertanian Kabupaten Sidoarjo, Balai Penyuluhan Pertanian di setiap kecamatan, kelompok tani, dan pemerintah desa. Izin formal diperoleh dari otoritas yang relevan sebelum kerja lapangan dimulai. Perjanjian kolaborasi menetapkan peran dan tanggung jawab untuk institusi yang berbeda dalam mendukung aktivitas penelitian. Pertemuan koordinasi reguler memastikan implementasi yang lancar dan mengatasi masalah apa pun yang muncul selama kerja lapangan. Asisten peneliti lokal direkrut dari universitas pertanian atau layanan penyuluhan untuk memfasilitasi akses dan memastikan kesesuaian budaya pengumpulan data (Israel et al., 2012).

Berbagai tindakan jaminan kualitas diimplementasikan sepanjang proses penelitian. Pra-testing instrumen di desa yang representatif tetapi bukan sampel membantu mengidentifikasi dan memperbaiki masalah sebelum pengumpulan data utama. Pelatihan enumerator meliputi baik pelatihan teknis tentang metode survei maupun pelatihan substantif tentang konsep PHT dan sistem produksi sayuran. Protokol supervisi meliputi pemeriksaan acak terhadap kualitas data, wawancara ulang sampel responden, dan sesi debriefing reguler dengan tim lapangan. Protokol entri data meliputi entri ganda untuk variabel kritis dan pemeriksaan sistematis untuk konsistensi dan kelengkapan (Biemer & Lyberg, 2003).

3.3. Populasi dan Teknik Sampling

Populasi target untuk penelitian ini adalah seluruh petani yang mengusahakan tanaman sayuran dataran rendah sebagai aktivitas utama atau sampingan di Kabupaten Sidoarjo. Kriteria inklusi untuk populasi target meliputi: (1) Petani yang mengusahakan minimal 0,1 hektar tanaman sayuran dalam 12 bulan

terakhir; (2) Umur minimal 18 tahun dengan kemampuan pengambilan keputusan dalam usahatani; (3) Berdomisili tetap di wilayah penelitian minimal 2 tahun; (4) Bersedia berpartisipasi dalam penelitian secara sukarela. Kriteria eksklusi meliputi petani yang hanya menanam sayuran untuk konsumsi rumah tangga tanpa orientasi komersial, petani yang mengusahakan sayuran sebagai aktivitas yang sangat minor (kurang dari 10% dari total aktivitas pertanian), dan petani yang berencana pindah tempat tinggal dalam 6 bulan ke depan (Levy & Lemeshow, 2013).

Kerangka sampling populasi dikonstruksi berdasarkan kombinasi data dari berbagai sumber untuk memastikan cakupan yang komprehensif dan akurat. Sumber primer adalah database petani dari Balai Penyuluhan Pertanian di setiap kecamatan yang telah divalidasi dan diperbarui melalui survei pendahuluan. Sumber sekunder meliputi data dari BPS (Sensus Pertanian), catatan kelompok tani, dan daftar penerima bantuan program pemerintah. Validasi silang antar sumber data membantu mengidentifikasi dan menghilangkan duplikasi, memverifikasi status aktif petani, dan memastikan kelengkapan cakupan. Konsultasi tingkat desa dengan kepala desa dan tokoh masyarakat membantu mengidentifikasi petani yang mungkin tidak terdaftar dalam sistem formal tetapi memenuhi kriteria penelitian. Kerangka sampling akhir mencakup 3.247 petani sayuran aktif di lima kecamatan terpilih, yang mewakili sekitar 85% dari total populasi petani sayuran di wilayah penelitian (Thompson, 2012).

Penelitian ini menggunakan stratified random sampling dengan berbagai tingkat stratifikasi untuk memastikan representativitas dan efisiensi dalam estimasi parameter populasi. Stratifikasi primer berdasarkan kecamatan memastikan representasi geografis dengan alokasi proporsional berdasarkan jumlah petani sayuran di setiap kecamatan. Stratifikasi sekunder berdasarkan kategori petani yang dibedakan menjadi: (1) Petani besar ($>1,0$ ha), (2) Petani sedang ($0,3-1,0$ ha), dan (3) Petani kecil ($<0,3$ ha). Kategori ini penting karena skala operasi dapat mempengaruhi pola adopsi dan akses terhadap sumber daya yang berbeda secara sistematis (Cochran, 1977).

Stratifikasi tersier berdasarkan tingkat paparan terhadap program penyuluhan, dikategorikan menjadi: (1) Paparan tinggi (partisipasi dalam FFS atau program penyuluhan intensif), (2) Paparan sedang (kontak reguler dengan agen penyuluhan), dan (3) Paparan rendah (kontak formal minimal atau tidak ada dengan penyuluhan). Stratifikasi ini penting untuk memahami peran penyuluhan dalam proses adopsi dan memastikan representasi yang memadai dari petani dengan tingkat akses informasi yang berbeda. Alokasi di berbagai strata menggunakan alokasi proporsional yang dimodifikasi yang sedikit oversample strata yang lebih kecil untuk memastikan ukuran sampel yang memadai untuk analisis subkelompok (Kish, 1965).

Perhitungan ukuran sampel menggunakan berbagai pendekatan untuk memastikan kecukupan untuk berbagai tujuan analitis. Analisis kekuatan untuk mendeteksi perbedaan tingkat adopsi antar kelompok menggunakan formula untuk uji-z dua-proporsi dengan asumsi: tingkat adopsi yang diharapkan 30% dalam kelompok kontrol, perbedaan minimum yang dapat dideteksi 15 poin persentase, kekuatan 80%, dan tingkat signifikansi 5%. Ini menghasilkan ukuran sampel minimum 280 per kelompok atau 560 total untuk perbandingan adopter vs non-adopter. Penyesuaian untuk efek desain dari stratified sampling ($deff = 1,3$) meningkatkan sampel yang diperlukan menjadi 728 (Lwanga & Lemeshow, 1991).

Analisis kekuatan untuk analisis regresi menggunakan pedoman Cohen untuk ukuran efek sedang ($f^2 = 0,15$) dengan hingga 15 variabel prediktor, kekuatan 80%, dan $\alpha = 0,05$, menghasilkan sampel minimum 139. Namun, untuk ukuran efek yang lebih konservatif ($f^2 = 0,10$) dan memungkinkan data yang hilang dan non-respons, sampel minimum meningkat menjadi 250. Evaluasi dampak menggunakan propensity score matching biasanya memerlukan sampel yang lebih besar, dengan rekomendasi 5-10 kali sampel yang lebih besar daripada studi eksperimental untuk mencapai kekuatan yang serupa. Estimasi konservatif menunjukkan minimum 600 observasi untuk estimasi dampak yang dapat diandalkan (Cohen, 1988).

Koreksi populasi terbatas diterapkan karena fraksi sampling melebihi 5% dalam beberapa strata. Ukuran sampel akhir ditetapkan 840 petani untuk memberikan kekuatan yang memadai untuk semua analisis yang direncanakan

sambil memperhitungkan potensi tingkat non-respons 15-20%. Alokasi sampel di berbagai strata: Sidoarjo (168), Candi (147), Tulangan (189), Wonoayu (168), Krembung (168), dengan alokasi proporsional di berbagai kategori ukuran usahatani dan paparan penyuluhan dalam setiap kabupaten (Thompson, 2012).

Implementasi desain sampling menggunakan prosedur multi-stage untuk memastikan seleksi yang sistematis dan meminimalkan bias seleksi. Tahap 1 melibatkan stratifikasi kerangka sampling sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan dan perhitungan ukuran sampel yang diperlukan untuk setiap stratum. Tahap 2 melibatkan seleksi acak sistematis petani dalam setiap stratum menggunakan generator angka acak untuk memastikan keacakan sejati. Prosedur seleksi meliputi protokol penggantian untuk menangani petani yang tidak memenuhi syarat atau tidak dapat dihubungi, dengan aturan substitusi maksimum untuk mempertahankan keacakan (Kalton, 1983).

Tahap 3 melibatkan verifikasi kelayakan petani yang dipilih dan kesediaan untuk berpartisipasi, dengan dokumentasi semua upaya kontak, penolakan, dan substitusi. Prosedur kontrol kualitas meliputi verifikasi supervisor terhadap 20% petani yang dipilih, pemeriksaan ganda prosedur sampling, dan pemeliharaan log terperinci untuk semua keputusan sampling. Tahap 4 melibatkan penjadwalan wawancara dengan petani yang dipilih, memastikan efisiensi geografis kerja lapangan sambil mempertahankan keacakan urutan seleksi. Protokol penggantian menentukan bahwa substitusi harus berasal dari stratum yang sama dan dipilih secara acak dari petani yang memenuhi syarat yang tersisa (Groves et al., 2009).

Mitigasi bias non-respons melibatkan berbagai strategi yang diimplementasikan sepanjang fase sampling dan pengumpulan data. Strategi pra-kontak meliputi surat pemberitahuan sebelumnya yang menjelaskan tujuan penelitian dan pentingnya, dukungan dari otoritas lokal atau pemimpin masyarakat yang dihormati, dan waktu upaya kontak untuk memaksimalkan ketersediaan petani. Strategi kontak meliputi berbagai upaya kontak pada waktu dan hari yang berbeda, penggunaan enumerator lokal yang familiar dengan komunitas, dan penjadwalan yang fleksibel untuk mengakomodasi preferensi petani (Groves et al., 2009).

Strategi pasca-kontak meliputi tindak lanjut intensif untuk non-responder awal, menawarkan format wawancara alternatif (kuesioner yang dipersingkat, wawancara telepon), dan memberikan insentif dalam bentuk informasi teknis atau laporan yang relevan untuk operasi pertanian. Analisis non-respons membandingkan karakteristik responder vs non-responder menggunakan informasi yang tersedia dari kerangka sampling untuk menilai potensi bias. Penyesuaian pembobotan diterapkan jika perbedaan sistematis terdeteksi antara kelompok respons. Dokumentasi semua alasan non-respons memungkinkan penilaian sumber bias potensial dan memandu interpretasi temuan (Little & Rubin, 2019).

Komponen kualitatif menggunakan strategi sampling purposif untuk memilih kasus yang memberikan peluang pembelajaran maksimum tentang proses adopsi dan faktor kontekstual. Pendekatan sampling teoritis memandu pemilihan kasus berdasarkan pola yang muncul dari analisis kuantitatif dan relevansi teoritis daripada representativitas statistik. Kriteria pemilihan kasus meliputi: (1) Variasi status adopsi (adopter sukses, adopter parsial, non-adopter, dis-adopter); (2) Variasi kinerja (performer tinggi vs rendah dalam kategori adopter); (3) Variasi kontekstual (jenis usahatani yang berbeda, orientasi pasar, endowment sumber daya); (4) Variasi temporal (adopter awal vs akhir) (Patton, 2014).

Maximum variation sampling dalam setiap kategori memastikan cakupan pengalaman dan perspektif yang beragam. Criterion sampling fokus pada kasus yang memenuhi kriteria spesifik yang relevan untuk memahami aspek tertentu dari proses adopsi. Critical case sampling mengidentifikasi kasus yang dapat memberikan wawasan tentang kondisi yang diperlukan atau cukup untuk keberhasilan adopsi. Snowball sampling dapat digunakan untuk mengidentifikasi kasus luar biasa atau mengakses populasi yang sulit dijangkau seperti adopter yang sangat sukses atau petani dengan inovasi unik (Miles & Huberman, 1994).

Ukuran sampel untuk komponen kualitatif ditentukan oleh prinsip saturasi daripada persyaratan statistik. Target awal 60 wawancara mendalam (12 per kabupaten) dengan potensi perpanjangan jika saturasi teoritis tidak tercapai. Komponen studi kasus melibatkan 15 kasus terperinci (3 per kabupaten) dengan berbagai sumber data per kasus. Diskusi kelompok terfokus direncanakan untuk 10

kelompok yang mewakili jenis petani dan kabupaten yang berbeda. Penilaian saturasi melibatkan analisis berkelanjutan selama pengumpulan data untuk menentukan kapan wawancara tambahan tidak lagi memberikan wawasan atau tema baru (Guest et al., 2006).

Desain sampling yang kompleks memerlukan penggunaan bobot sampling dalam analisis statistik untuk memastikan estimasi populasi yang tidak bias. Bobot desain dihitung sebagai kebalikan dari probabilitas seleksi dalam setiap stratum, menyesuaikan untuk koreksi populasi terbatas jika berlaku. Bobot non-respons dihitung berdasarkan model kecenderungan respons menggunakan informasi tambahan yang tersedia untuk responder dan non-responder. Bobot akhir menggabungkan bobot desain dan non-respons dengan penyesuaian pasca-stratifikasi untuk karakteristik populasi yang diketahui (Lohr, 2009).

Analisis data survei harus memperhitungkan desain sampling yang kompleks menggunakan perangkat lunak dan prosedur statistik yang sesuai. Kesalahan standar disesuaikan untuk efek stratifikasi dan clustering menggunakan linearisasi seri Taylor atau metode replikasi. Interval kepercayaan dan uji hipotesis dimodifikasi untuk mencerminkan distribusi sampling aktual daripada mengasumsikan simple random sampling. Analisis subpopulasi dilakukan menggunakan teknik estimasi domain yang tepat daripada subset data. Dokumentasi prosedur sampling dan bobot memungkinkan interpretasi dan replikasi analisis yang tepat (Heeringa et al., 2017).

Prosedur sampling menggabungkan pertimbangan etis untuk melindungi hak partisipan dan memastikan partisipasi sukarela. Informed consent diperoleh dari semua petani yang dipilih sebelum pengumpulan data dimulai, dengan penjelasan yang jelas tentang tujuan penelitian, prosedur, risiko, manfaat, dan sifat sukarela partisipasi. Tindakan perlindungan privasi meliputi penyimpanan informasi kerangka sampling yang aman, perlakuan konfidensial terhadap respons individual, dan anonimisasi data untuk analisis dan pelaporan. Konsultasi komunitas dengan pemimpin desa dan organisasi petani membantu memastikan kesesuaian budaya prosedur penelitian (Israel et al., 2012).

Pengaturan pembagian manfaat memastikan bahwa temuan penelitian memberikan nilai untuk komunitas yang berpartisipasi melalui laporan teknis dalam bahasa lokal, sesi pelatihan berdasarkan temuan penelitian, dan rekomendasi kebijakan yang mendukung kepentingan petani. Mekanisme umpan balik memungkinkan partisipan untuk menerima informasi tentang kemajuan penelitian dan temuan. Prosedur penarikan diri memungkinkan partisipan untuk menghentikan partisipasi kapan saja tanpa penalti atau konsekuensi negatif. Protokol penelitian ditinjau dan disetujui oleh komite etik institusional untuk memastikan kepatuhan dengan standar profesional dan etis (Creswell, 2014).

3.4. Variabel Penelitian dan Definisi Operasional

Penelitian ini melibatkan sekumpulan variabel yang kompleks yang dikategorikan berdasarkan fungsi teoretis dan analitis dalam model penelitian. Variabel terikat (*dependent variables*) mencakup status adopsi, intensitas adopsi, efisiensi teknis, efisiensi ekonomi, dan ukuran kualitas produk yang menjadi hasil utama yang ingin dijelaskan atau diprediksi. Variabel bebas (*independent variables*) mencakup karakteristik petani, karakteristik usahatani, karakteristik teknologi, faktor institusional, dan faktor pasar yang dihipotesiskan mempengaruhi keputusan adopsi dan hasil. Variabel kontrol mencakup faktor lingkungan, faktor temporal, dan faktor spesifik lokasi yang perlu dikontrol untuk mengisolasi efek variabel utama yang menjadi perhatian. Variabel mediasi mencakup pengetahuan, sikap, dan pengaruh sosial yang dapat mentransmisikan efek dari variabel bebas kepada variabel terikat. Variabel moderasi mencakup faktor-faktor yang dapat mengubah kekuatan atau arah hubungan antara variabel lain (Baron & Kenny, 1986; MacKinnon et al., 2007).

Status adopsi diukur sebagai variabel biner (1 = adopter, 0 = non-adopter) berdasarkan implementasi setidaknya tiga komponen inti PHT dalam dua tahun terakhir. Komponen inti meliputi:

1. Pemantauan dan pengintaian hama secara reguler,
2. Penggunaan ambang ekonomi atau tindakan untuk keputusan pengendalian,
3. Implementasi setidaknya satu praktik pengendalian biologis,

4. Penggunaan metode pengendalian budidaya,
5. Penggunaan pestisida secara selektif berdasarkan masalah hama spesifik daripada penyemprotan kalender.

Klasifikasi adopter memerlukan bukti implementasi yang berkelanjutan daripada uji coba satu kali, dengan verifikasi melalui berbagai indikator termasuk laporan diri petani, bukti fisik, catatan pembelian input, dan korroborasi tetangga (Rogers, 2003).

Intensitas adopsi diukur menggunakan skala kontinu (0-100) yang memberikan bobot berbagai komponen PHT berdasarkan kompleksitas dan pentingnya. Sistem penilaian memberikan poin untuk: pemantauan hama (20 poin), ambang ekonomi (20 poin), pengendalian biologis (25 poin), praktik budidaya (20 poin), penggunaan pestisida selektif (15 poin). Dalam setiap komponen, sub-skor mencerminkan kualitas implementasi, frekuensi, dan komprehensivitas. Skor intensitas akhir dihitung sebagai rata-rata tertimbang di semua komponen, dengan penyesuaian untuk faktor spesifik usahatani yang dapat mempengaruhi kelayakan praktik tertentu. Pendekatan ini menangkap gradasi dalam adopsi daripada memperlakukannya sebagai fenomena biner (Feder & Umali, 1993).

Keberlanjutan adopsi diukur melalui pertanyaan retrospektif tentang kelanjutan, modifikasi, atau penghentian praktik PHT seiring waktu. Indikator meliputi tahun implementasi berkelanjutan, perubahan dalam intensitas implementasi, alasan untuk modifikasi, dan niat untuk penggunaan masa depan. Peristiwa dis-adopsi didokumentasikan dengan waktu dan alasan untuk penghentian. Dis-adopsi parsial diukur sebagai pengurangan dalam jumlah komponen atau intensitas implementasi. Variabel ini menangkap sifat dinamis keputusan adopsi dan memberikan wawasan tentang faktor-faktor yang mempengaruhi keberlanjutan jangka panjang (Neill & Lee, 2001).

1. Variabel Terikat

a. Efisiensi Usahatani

Efisiensi teknis diukur menggunakan pendekatan Data Envelopment Analysis (DEA) atau Stochastic Frontier Analysis (SFA) untuk menghasilkan skor efisiensi berkisar dari 0 hingga 1. Variabel input

meliputi luas lahan, jam kerja (keluarga dan upahan), benih/bibit, pupuk (organik dan sintetis), pestisida, dan input material lainnya. Variabel output adalah total produksi sayuran yang diukur dalam nilai moneter untuk memungkinkan agregasi di berbagai tanaman. Skor efisiensi mewakili jarak dari frontier produksi, dengan skor yang lebih dekat ke 1 menunjukkan efisiensi teknis yang lebih tinggi. Variabel lingkungan seperti kualitas tanah, kondisi iklim, dan akses infrastruktur dimasukkan untuk memperhitungkan heterogenitas lingkungan produksi (Coelli et al., 2005).

b. Kualitas Produk

Kualitas produk diukur menggunakan kerangka multi-dimensi yang mencakup atribut kimia, nutrisi, fisik, dan sensor. Indikator kualitas kimia meliputi tingkat residu pestisida yang diukur melalui analisis laboratorium sampel representatif, kandungan logam berat, kadar nitrat, dan nilai pH. Analisis laboratorium dilakukan menggunakan gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) untuk residu pestisida dengan batas deteksi di bawah batas maksimum residu (BMR) yang ditetapkan dalam standar nasional. Protokol pengumpulan sampel memastikan representativitas di berbagai periode panen dan kondisi penyimpanan (Kader, 2002).

2. Variabel Bebas

a. Karakteristik Petani

Umur diukur dalam tahun pada saat survei, dengan pengelompokan kategorikal untuk analisis (≤ 35 , 36-50, 51-65, > 65 tahun). Tingkat pendidikan diukur sebagai tahun pendidikan formal yang diselesaikan, dengan indikator tambahan untuk pelatihan pertanian, partisipasi penyuluhan, dan pengalaman belajar informal. Pengalaman diukur sebagai tahun terlibat dalam pertanian sayuran, dengan ukuran terpisah untuk pengalaman pertanian umum dan pengalaman spesifik dengan tanaman saat ini. Pengalaman manajemen dinilai melalui pertanyaan

tentang tanggung jawab pengambilan keputusan, aktivitas perencanaan, dan praktik pencatatan (Huffman, 2001).

b. **Karakteristik Usahatani**

Ukuran usahatani diukur sebagai total area di bawah produksi sayuran dalam hektar, dengan ukuran terpisah untuk lahan milik, sewa, dan bagi hasil. Kualitas lahan dinilai melalui uji tanah untuk parameter kunci (pH, bahan organik, tingkat nutrisi) atau penilaian petani tentang tingkat produktivitas dibandingkan dengan rata-rata area. Akses irigasi diukur sebagai persentase area usahatani dengan akses air yang dapat diandalkan dan frekuensi ketersediaan air sepanjang musim tanam. Akses infrastruktur meliputi jarak ke pasar, pemasok input, kantor penyuluhan, dan kualitas koneksi transportasi (Feder et al., 1985).

c. **Faktor Institusional**

Akses penyuluhan diukur melalui frekuensi kontak dengan agen penyuluhan, partisipasi dalam sekolah lapang petani atau program pelatihan, keanggotaan dalam organisasi petani, dan akses ke publikasi teknis atau sumber informasi. Kualitas layanan penyuluhan dinilai melalui evaluasi petani tentang kegunaan, ketepatan waktu, relevansi, dan kompetensi teknis informasi yang diterima. Modal sosial diukur menggunakan partisipasi dalam organisasi masyarakat, tingkat kepercayaan dalam masyarakat, norma timbal balik, dan kepadatan jaringan di antara petani (Coleman, 1988).

3. **Variabel Kontrol**

Faktor lingkungan meliputi pola curah hujan, variasi suhu, tingkat tekanan hama, dan kondisi tanah yang dapat mempengaruhi baik insentif adopsi maupun hasil produksi. Variabel ini diukur melalui kombinasi data stasiun cuaca, laporan petani, dan catatan penyuluhan pertanian. Efek tetap lokasi ditangkap melalui variabel dummy tingkat desa untuk mengontrol faktor spesifik lokasi yang tidak teramati. Faktor temporal meliputi musim produksi, tahun pengumpulan data, dan tren waktu yang dapat mempengaruhi hasil independen dari keputusan adopsi (Wooldridge, 2010).

Kondisi pasar meliputi tingkat harga dan volatilitas untuk sayuran dan input, pola permintaan konsumen, dan kondisi kompetitif yang dapat mempengaruhi insentif adopsi dan hasil. Variabel ini diukur melalui data harga pasar, wawancara pedagang, dan laporan petani tentang kondisi pasar. Faktor demografis rumah tangga meliputi ukuran keluarga, rasio ketergantungan, sumber pendapatan off-farm, dan gender manajer usahatani yang dapat mempengaruhi ketersediaan sumber daya dan keputusan adopsi. Faktor spesifik tanaman meliputi karakteristik varietas, teknik produksi, dan persyaratan pasar yang bervariasi di berbagai tanaman sayuran (Deaton, 1997).

Semua variabel diukur menggunakan protokol terstandarisasi untuk memastikan konsistensi dan reliabilitas di berbagai observasi. Ukuran kuantitatif menggunakan unit metrik dan skala terstandarisasi jika memungkinkan. Ukuran subjektif menggunakan skala Likert atau skala analog visual dengan titik jangkar dan definisi yang jelas. Berbagai indikator digunakan untuk konstruk kompleks untuk memungkinkan validasi dan penilaian reliabilitas. Pra-testing instrumen memastikan pertanyaan dipahami secara konsisten di berbagai jenis petani dan tingkat pendidikan (DeVellis, 2016).

Prosedur validasi meliputi pemeriksaan silang variabel kunci melalui berbagai sumber (laporan petani, observasi, catatan), pemeriksaan konsistensi logis selama pengumpulan data, dan verifikasi nilai ekstrem melalui pertanyaan tindak lanjut. Protokol data yang hilang menentukan tingkat data yang hilang yang dapat diterima untuk berbagai variabel dan prosedur untuk menangani nilai yang hilang dalam analisis. Prosedur transformasi data didokumentasikan untuk variabel yang memerlukan normalisasi, standarisasi, atau transformasi lain untuk memenuhi asumsi analitis (Little & Rubin, 2019).

3.5. Instrumen Penelitian dan Teknik Pengumpulan Data

Kuesioner terstruktur dikembangkan sebagai instrumen utama untuk pengumpulan data kuantitatif, menggunakan pendekatan sistematis yang mengintegrasikan wawasan dari tinjauan literatur, kerangka teoretis, dan konsultasi pemangku kepentingan. Proses desain kuesioner dimulai dengan operasionalisasi

konstruk kunci berdasarkan definisi teoretis dan pendekatan pengukuran yang telah divalidasi dalam studi sebelumnya. Generasi item melibatkan adaptasi dari skala yang telah divalidasi jika sesuai, pengembangan item baru untuk konstruk yang belum diukur secara memadai dalam konteks pertanian, dan kustomisasi untuk konteks spesifik pertanian sayuran di Jawa Timur (DeVellis, 2016).

Struktur instrumen diorganisir dalam alur logis yang meminimalkan beban responden sambil memastikan cakupan komprehensif semua variabel penelitian. Bagian pembuka membangun rapport dan mengumpulkan informasi demografis dasar yang tidak mengancam dan mudah dijawab. Bagian inti secara sistematis mengatasi status dan intensitas adopsi, faktor determinan, dan ukuran hasil menggunakan kombinasi pertanyaan faktual, skala sikap, dan laporan perilaku. Bagian penutup mengatasi topik sensitif seperti pendapatan dan keuangan rumah tangga setelah membangun kepercayaan dan keterlibatan. Urutan pertanyaan dirancang untuk meminimalkan bias respons dari efek urutan pertanyaan atau kelelahan responden (Dillman et al., 2014).

Pertimbangan format respons meliputi campuran pertanyaan tertutup dengan kategori respons yang telah ditentukan dan pertanyaan terbuka untuk menangkap respons yang tidak terduga atau konteks tambahan. Pertanyaan tertutup menggunakan skala yang sesuai termasuk pilihan biner untuk pertanyaan faktual, skala Likert untuk ukuran sikap, respons numerik untuk data kuantitatif, dan pilihan kategorikal untuk variabel klasifikasi. Kategori respons dirancang untuk saling eksklusif dan kolektif ekshaustif, dengan pilihan "tidak tahu" atau "tidak berlaku" jika sesuai. Pola skip dan logika percabangan meminimalkan beban pada responden sambil memastikan pengumpulan data komprehensif dari subkelompok yang relevan (Fowler, 2013).

Validasi instrumen mengikuti proses multi-tahap untuk memastikan validitas konten, validitas konstruk, dan reliabilitas. Validitas konten dinilai melalui tinjauan ahli yang melibatkan ekonom pertanian, spesialis penyuluhan, dan ahli pertanian lokal yang familiar dengan PHT dan pertanian sayuran di wilayah tersebut. Tinjauan ahli fokus pada kelengkapan cakupan konten, kesesuaian item untuk mengukur konstruk yang dimaksudkan, sensitivitas budaya pertanyaan, dan

kejelasan instruksi dan format respons. Umpan balik dimasukkan melalui proses revisi iteratif (Lynn, 1986).

Wawancara kognitif dilakukan dengan sampel kecil petani untuk menilai pemahaman, interpretasi, dan proses respons. Protokol think-aloud mengungkapkan bagaimana petani memahami pertanyaan, informasi apa yang mereka pertimbangkan ketika merumuskan jawaban, dan sumber potensial kesalahan respons. Wawancara kognitif juga mengidentifikasi masalah dengan kata-kata pertanyaan, terminologi yang membingungkan, asumsi yang tidak tepat, atau kategori respons yang hilang. Hasil memandu penyempurnaan kata-kata pertanyaan, format respons, dan instruksi (Willis, 2004).

Uji pilot dilakukan dengan sampel representatif 50 petani dari komunitas serupa tetapi bukan studi untuk menilai kinerja kuesioner dalam kondisi lapangan. Uji pilot mengevaluasi panjang kuesioner, beban responden, persyaratan pelatihan enumerator, indikator kualitas data, dan sifat psikometrik awal skala. Reliabilitas test-retest dinilai melalui wawancara ulang subset responden pilot setelah interval 1-2 minggu. Konsistensi internal dinilai menggunakan alpha Cronbach atau ukuran reliabilitas lain yang sesuai. Analisis item mengidentifikasi pertanyaan dengan kinerja buruk yang memerlukan revisi atau eliminasi (Litwin, 1995).

Panduan wawancara mendalam dikembangkan untuk menangkap informasi kontekstual yang kaya tentang proses adopsi, pengalaman implementasi, dan motivasi dasar yang tidak dapat ditangkap secara memadai melalui kuesioner terstruktur. Panduan wawancara menggunakan format semi-terstruktur dengan pertanyaan inti yang memastikan konsistensi di berbagai wawancara sambil memungkinkan fleksibilitas untuk mengeksplorasi tema yang tidak terduga atau menindaklanjuti respons yang menarik. Pengembangan pertanyaan dipandu oleh kerangka teoretis dan temuan kuantitatif untuk memastikan integrasi antara komponen penelitian (Patton, 2014).

Struktur panduan wawancara dimulai dengan pertanyaan umum dan tidak mengancam tentang latar belakang pertanian dan praktik saat ini untuk membangun rapport dan konteks. Bagian inti secara sistematis mengeksplorasi proses pengambilan keputusan adopsi, pengalaman implementasi, manfaat dan tantangan

yang dipersepsikan, pengaruh sosial, dan niat masa depan. Pertanyaan probing membantu memperoleh deskripsi terperinci, contoh spesifik, dan alasan yang mendasari. Pertanyaan penutup memungkinkan responden untuk menambahkan informasi yang mereka anggap penting dan memberikan umpan balik tentang pengalaman wawancara. Kata-kata pertanyaan menggunakan format terbuka untuk mendorong respons terperinci sambil menghindari pertanyaan leading atau bias (Rubin & Rubin, 2011).

Panduan diskusi kelompok terfokus dirancang untuk mengeksplorasi dimensi sosial adopsi, dinamika kelompok dalam difusi teknologi, dan faktor tingkat komunitas yang mempengaruhi implementasi PHT. Topik diskusi meliputi pengalaman kolektif dengan PHT, proses pengambilan keputusan kelompok, pengaruh sosial pada adopsi, norma komunitas terkait penggunaan pestisida, dan kemungkinan tindakan kolektif untuk mendukung adopsi PHT. Komposisi kelompok direncanakan dengan hati-hati untuk mencakup campuran adopter dan non-adopter sambil memastikan dinamika sosial yang nyaman dan diskusi terbuka. Panduan moderator meliputi aktivitas ice-breaker, topik diskusi terstruktur, dan teknik untuk mengelola dinamika kelompok (Krueger & Casey, 2014).

Kriteria seleksi enumerator meliputi latar belakang pendidikan dalam pertanian atau bidang terkait, pengalaman survei sebelumnya, keakraban dengan bahasa dan budaya lokal, dan keterampilan komunikasi yang kuat. Proses seleksi meliputi tes tertulis pengetahuan teknis, latihan bermain peran untuk menilai keterampilan interpersonal, dan wawancara praktik untuk mengevaluasi kompetensi pengumpulan data. Enumerator yang dipilih berpartisipasi dalam program pelatihan komprehensif yang mencakup tujuan penelitian, konten kuesioner, teknik wawancara, pertimbangan etis, dan prosedur kontrol kualitas (Groves et al., 2009).

Program pelatihan menggabungkan instruksi kelas dengan praktik lapangan untuk memastikan kompetensi dalam semua aspek pengumpulan data. Pelatihan teknis mencakup konsep PHT, praktik pertanian sayuran, konten kuesioner, dan prosedur survei. Pelatihan interpersonal mengatasi pembangunan rapport, menangani responden yang sulit, sensitivitas budaya, dan mempertahankan

netralitas. Sesi praktik meliputi bermain peran dengan berbagai jenis responden, wawancara tiruan dengan umpan balik, dan praktik lapangan dalam komunitas non-studi. Latihan standardisasi memastikan konsistensi di antara enumerator dalam administrasi pertanyaan dan pencatatan respons (Fowler, 2013).

Protokol kontrol kualitas diimplementasikan sepanjang proses pengumpulan data untuk memastikan integritas dan reliabilitas data. Supervisor mendampingi setiap enumerator untuk observasi langsung wawancara awal, dengan umpan balik dan pelatihan tambahan yang diberikan sesuai kebutuhan. Pemeriksaan kualitas acak meliputi wawancara ulang supervisor terhadap 10% wawancara yang telah diselesaikan untuk memverifikasi akurasi dan kelengkapan. Sesi debriefing harian mengatasi masalah yang dihadapi, mengklarifikasi prosedur, dan memastikan penerapan protokol yang konsisten. Back-check memverifikasi informasi kontak dan respons dasar melalui panggilan telepon tindak lanjut atau kunjungan (Biemer & Lyberg, 2003).

Prosedur sistematis mengatur semua aspek pengumpulan data kuantitatif untuk memastikan konsistensi, kelengkapan, dan kualitas. Protokol kontak menentukan prosedur untuk kontak awal, penjadwalan janji, dan tindak lanjut untuk non-kontak atau penolakan. Berbagai upaya kontak dilakukan pada waktu dan hari yang berbeda untuk memaksimalkan tingkat respons. Notifikasi lanjutan melalui pemimpin masyarakat atau agen penyuluhan membantu membangun legitimasi dan mendorong partisipasi. Prosedur informed consent memastikan partisipasi sukarela dan melindungi hak responden (Dillman et al., 2014).

Administrasi wawancara mengikuti protokol terstandarisasi untuk pembacaan pertanyaan, pencatatan respons, dan prosedur klarifikasi. Enumerator dilatih untuk membaca pertanyaan persis seperti yang ditulis, melakukan probing yang sesuai untuk respons yang tidak lengkap, dan mencatat jawaban secara akurat. Pertimbangan setting wawancara meliputi privasi, gangguan minimal, dan lingkungan yang nyaman untuk respons yang jujur. Durasi wawancara biasanya 60-90 menit dengan istirahat yang diberikan sesuai kebutuhan. Kompensasi responden diberikan dalam bentuk informasi teknis atau hadiah kecil daripada uang tunai untuk menghindari bias respons (Fowler, 2013).

Prosedur pencatatan data memastikan akurasi dan kelengkapan penangkapan respons. Kuesioner kertas menggunakan format yang jelas, alur logis, dan kertas berkualitas untuk daya tahan dalam kondisi lapangan. Pencatatan respons mengikuti konvensi terstandarisasi untuk entri numerik, respons teks, dan kode data yang hilang. Pemeriksaan kualitas dilakukan segera setelah setiap wawancara untuk mengidentifikasi respons yang tidak lengkap atau tidak konsisten yang memerlukan klarifikasi. Organisasi data harian dan prosedur penyimpanan aman melindungi kerahasiaan dan mencegah kehilangan data (Groves et al., 2009).

Pengumpulan data kualitatif mengikuti prosedur yang fleksibel namun sistematis yang dirancang untuk menangkap informasi yang kaya dan terperinci sambil mempertahankan konsistensi di berbagai kasus. Penjadwalan wawancara memungkinkan waktu yang memadai untuk diskusi mendalam, biasanya 90-120 menit untuk wawancara individu. Pemilihan lokasi memprioritaskan kenyamanan responden dan privasi sambil memungkinkan kualitas rekaman audio yang baik. Berbagai sesi dapat dijadwalkan untuk kasus kompleks atau ketika wawancara awal mengungkapkan kebutuhan untuk eksplorasi tambahan (Miles & Huberman, 1994).

Prosedur perekaman meliputi rekaman audio digital dengan perangkat cadangan, dilengkapi dengan catatan lapangan terperinci yang mencakup observasi non-verbal, informasi kontekstual, dan refleksi pewawancara. Partisipan diberitahu tentang perekaman dan diberi pilihan untuk menolak perekaman sambil tetap berpartisipasi. Prosedur transkripsi memastikan akurasi dengan verifikasi oleh pewawancara asli. Catatan lapangan diperluas segera setelah wawancara untuk menangkap detail tambahan dan wawasan sementara ingatan masih segar. Ringkasan wawancara disiapkan untuk setiap kasus yang menyoroti tema dan wawasan kunci (Patton, 2014).

Prosedur kelompok terfokus mengatasi dinamika kelompok, keseimbangan partisipasi, dan pertimbangan kualitas data. Sesi biasanya 90-120 menit dengan 6-8 partisipan yang dipilih untuk memastikan perspektif yang beragam sambil mempertahankan ukuran kelompok yang nyaman. Pemilihan fasilitas memprioritaskan lokasi netral dan dapat diakses dengan gangguan minimal. Co-moderator membantu dengan pencatatan, manajemen peralatan, dan observasi

partisipan. Aturan dasar ditetapkan untuk diskusi yang saling menghormati, kerahasiaan, dan kesempatan partisipasi yang sama. Prosedur perekaman dan transkripsi serupa untuk wawancara individu tetapi diadaptasi untuk berbagai pembicara (Krueger & Casey, 2014).

Pengumpulan data memanfaatkan teknologi yang sesuai untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas sambil mempertahankan reliabilitas dalam kondisi lapangan. Platform pengumpulan data mobile dipertimbangkan untuk komponen yang sesuai dari instrumen survei, dengan manfaat termasuk pola skip otomatis, pemeriksaan rentang, dan transmisi data langsung. Namun, pengumpulan berbasis kertas dipertahankan sebagai cadangan dan untuk konteks dimana perangkat elektronik tidak praktis. Perangkat GPS digunakan untuk pencatatan lokasi yang akurat ketika relevan untuk analisis. Kamera digital mendokumentasikan bukti visual praktik pertanian ketika sesuai dan dengan izin (Couper, 2017).

Peralatan rekaman audio meliputi perekam digital berkualitas tinggi dengan mikrofon eksternal untuk penangkapan yang jelas dalam berbagai lingkungan akustik. Peralatan cadangan dan baterai memastikan kontinuitas selama hari lapangan yang panjang. Protokol penyimpanan data aman melindungi kerahasiaan melalui enkripsi, perlindungan kata sandi, dan prosedur cadangan aman. Protokol transmisi data memastikan transfer aman dari lapangan ke lokasi analisis. Prosedur pemeliharaan dan kalibrasi peralatan memastikan kinerja yang konsisten sepanjang periode pengumpulan data (Dillman et al., 2014).

Semua prosedur pengumpulan data menggabungkan pertimbangan etis untuk melindungi hak dan kesejahteraan partisipan. Prosedur informed consent memberikan informasi yang jelas tentang tujuan penelitian, prosedur, risiko, manfaat, perlindungan kerahasiaan, dan sifat sukarela partisipasi. Formulir persetujuan tersedia dalam bahasa lokal dengan penjelasan lisan untuk partisipan dengan keterbatasan literasi. Hak untuk menarik diri ditekankan tanpa konsekuensi negatif untuk non-partisipasi atau penarikan diri (Israel et al., 2012).

Perlindungan kerahasiaan meliputi sistem pengkodean anonim, penyimpanan data aman, akses terbatas untuk informasi pribadi, dan pelaporan

agregat yang mencegah identifikasi individu. Perjanjian pembagian data menentukan penggunaan dan pembatasan akses yang diizinkan. Mekanisme umpan balik komunitas memastikan partisipan diberitahu tentang kemajuan penelitian dan temuan. Pembagian manfaat meliputi penyediaan informasi teknis yang relevan, peluang pelatihan berdasarkan temuan penelitian, dan rekomendasi kebijakan yang mendukung kepentingan partisipan. Pelatihan sensitivitas budaya untuk semua anggota tim peneliti memastikan keterlibatan yang saling menghormati dengan komunitas yang beragam (Creswell, 2014).

3.6. Teknik Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini menggunakan kerangka analitis metode campuran yang mengintegrasikan pendekatan kuantitatif dan kualitatif untuk memberikan pemahaman komprehensif tentang fenomena adopsi PHT. Analisis sekuensial penjelasan dimulai dengan analisis kuantitatif untuk mengidentifikasi pola, hubungan, dan efek, diikuti oleh analisis kualitatif untuk menjelaskan mekanisme, mengeksplorasi konteks, dan memahami proses yang mendasari temuan statistik. Integrasi terjadi pada berbagai tingkat: selama perencanaan analisis dimana hasil kuantitatif memandu fokus penyelidikan kualitatif, selama interpretasi dimana wawasan kualitatif membantu menjelaskan pola kuantitatif, dan selama pelaporan dimana kedua jenis bukti disintesis untuk kesimpulan komprehensif (Tashakkori & Teddlie, 2010; Creswell & Plano Clark, 2017).

Strategi triangulasi membandingkan temuan di berbagai sumber data, metode, dan pendekatan analitis untuk menilai konsistensi dan validitas hasil. Konvergensi di berbagai sumber memperkuat kepercayaan dalam temuan, sementara divergensi menandakan kebutuhan untuk investigasi tambahan atau penjelasan alternatif. Pengembangan meta-inferensi menggabungkan wawasan dari komponen kuantitatif dan kualitatif untuk menghasilkan pemahaman tingkat tinggi yang melebihi apa yang dapat diberikan oleh pendekatan tunggal. Memo analitis mendokumentasikan keputusan integrasi, wawasan interpretatif, dan tema yang muncul sepanjang proses analisis (Greene, 2007).

Analisis deskriptif memberikan gambaran komprehensif karakteristik sampel, distribusi variabel, dan pola univariat yang membangun fondasi untuk analisis lanjutan. Variabel kontinu dianalisis menggunakan ukuran tendensi sentral (rata-rata, median), dispersi (deviasi standar, rentang interkuartil), dan bentuk distribusi (skewness, kurtosis). Presentasi grafis meliputi histogram, box plot, dan density plot untuk memvisualisasikan distribusi dan mengidentifikasi outlier atau pola yang tidak biasa. Variabel kategorikal dianalisis menggunakan distribusi frekuensi, tabulasi silang, dan uji chi-square untuk independensi (Agresti, 2018).

Analisis bivariat menguji hubungan antara pasangan variabel menggunakan analisis korelasi untuk variabel kontinu, analisis tabel kontingensi untuk variabel kategorikal, dan t-test atau ANOVA untuk membandingkan rata-rata di berbagai kelompok. Ukuran effect size melengkapi uji signifikansi untuk menilai pentingnya praktis hubungan. Pola data yang hilang dianalisis untuk memahami mekanisme non-respons dan menginformasikan strategi penanganan. Penilaian kualitas data meliputi pemeriksaan rentang, verifikasi konsistensi logis, dan identifikasi observasi berpengaruh atau outlier yang memerlukan perhatian khusus (Cohen, 1988).

Teknik analisis data eksploratori termasuk analisis komponen utama atau analisis faktor mengeksplorasi dimensi yang mendasari dalam dataset kompleks, khususnya untuk variabel sikap dan pengetahuan. Analisis cluster dapat mengidentifikasi pengelompokan alami dalam populasi petani yang memerlukan perlakuan analitis terpisah. Prosedur transformasi data mengatasi non-normalitas, heteroskedastisitas, atau pelanggaran lain dari asumsi analitis. Prosedur statistik robust digunakan ketika asumsi tidak dapat dipenuhi melalui transformasi (Tukey, 1977).

Analisis adopsi menggunakan berbagai pendekatan untuk memahami secara komprehensif pola adopsi dan faktor yang mempengaruhi. Regresi logistik biner memodelkan keputusan adopsi sebagai fungsi karakteristik petani, usahatani, institusional, dan kontekstual. Spesifikasi model mengikuti kerangka teoretis dengan seleksi variabel sistematis menggunakan kombinasi relevansi teoretis dan kinerja empiris. Istilah interaksi mengeksplorasi apakah efek bervariasi di berbagai

jenis petani atau konteks. Diagnostik model meliputi uji goodness-of-fit, analisis residual, deteksi observasi berpengaruh, dan penilaian multikolinearitas. Ukuran Pseudo R-squared dan akurasi klasifikasi menilai kekuatan penjelasan dan kinerja prediktif. Perhitungan efek marginal memberikan ukuran dampak variabel yang dapat diinterpretasikan (Long & Freese, 2014).

Regresi logistik multinomial mengeksplorasi kategori intensitas adopsi (non-adopter, adopter parsial, adopter lengkap) untuk memahami faktor yang mempengaruhi tingkat implementasi yang berbeda. Regresi logistik berurutan mungkin sesuai jika intensitas adopsi diperlakukan sebagai kategori ordinal daripada nominal. Perbandingan model menggunakan kriteria informasi membantu memilih spesifikasi optimal. Pemeriksaan robustness meliputi definisi variabel alternatif, analisis sub-sampel, dan analisis sensitivitas untuk asumsi kunci (Greene, 2017).

Analisis durasi menguji time-to-adoption menggunakan teknik analisis survival ketika data temporal yang cukup tersedia. Estimator Kaplan-Meier menggambarkan tingkat hazard adopsi seiring waktu, sementara model hazard proporsional Cox mengidentifikasi faktor yang mempengaruhi timing adopsi. Model competing risks mungkin sesuai jika jalur adopsi yang berbeda dimungkinkan. Model hazard waktu diskrit memberikan pendekatan alternatif ketika data waktu kontinu tidak tersedia (Allison, 2014).

Evaluasi dampak menggunakan metode inferensi kausal yang ketat untuk memperkirakan efek adopsi PHT pada berbagai hasil sambil mengatasi bias seleksi dan confounding. Propensity Score Matching (PSM) membangun kelompok perbandingan counterfactual dengan mencocokkan adopter dengan non-adopter yang memiliki probabilitas adopsi serupa berdasarkan karakteristik yang diamati. Skor kecenderungan diestimasi menggunakan regresi logistik dengan set komprehensif karakteristik pra-adopsi. Algoritma pencocokan meliputi metode nearest neighbor, radius, kernel, atau stratifikasi dengan pembatasan common support yang sesuai (Rosenbaum & Rubin, 1983).

Pengujian keseimbangan memastikan pencocokan yang berhasil dengan membandingkan distribusi kovariat antara kelompok treated dan control setelah pencocokan. Ukuran bias terstandarisasi dan t-test menilai kualitas keseimbangan, dengan re-spesifikasi model propensity score jika ketidakseimbangan terdeteksi. Analisis sensitivitas menguji robustness terhadap bias tersembunyi menggunakan Rosenbaum bounds atau teknik lain. Estimasi Average Treatment Effect on the Treated (ATT) memberikan ukuran dampak utama, dengan kesalahan standar bootstrap untuk inferensi (Caliendo & Kopeinig, 2008).

Estimasi Variabel Instrumental (IV) mengatasi bias seleksi ketika instrumen yang sesuai tersedia. Instrumen potensial meliputi jarak ke layanan penyuluhan, timing pengenalan program di area yang berbeda, atau perubahan kebijakan yang mempengaruhi insentif adopsi. Validitas instrumen memerlukan relevansi (korelasi kuat dengan adopsi) dan restriction exclusion (mempengaruhi hasil hanya melalui adopsi). Two-stage least squares memberikan estimasi yang konsisten di bawah asumsi yang sesuai, dengan uji instrumen lemah dan uji overidentifikasi ketika berbagai instrumen tersedia (Angrist & Pischke, 2008).

Pendekatan Difference-in-differences memanfaatkan variasi temporal dalam paparan perlakuan ketika data panel tersedia atau dapat dikonstruksi melalui recall. Asumsi parallel trends mengharuskan bahwa kelompok perlakuan dan kontrol akan berkembang serupa tanpa intervensi. Desain event study menguji efek dinamis dan menguji asumsi parallel trends. Triple differences menambahkan dimensi variasi tambahan untuk memperkuat identifikasi. Metode synthetic control memberikan alternatif ketika sedikit unit yang diperlakukan tersedia (Athey & Imbens, 2017).

Analisis efisiensi teknis menggunakan teknik estimasi frontier untuk mengukur seberapa dekat petani beroperasi dengan frontier produksi praktik terbaik. Data Envelopment Analysis (DEA) menggunakan pemrograman linier untuk membangun frontier non-parametrik berdasarkan kombinasi input-output yang diamati. Model variable returns to scale mengakomodasi inefisiensi skala, sementara constant returns to scale menerapkan asumsi yang lebih ketat. Metode bootstrap memberikan interval kepercayaan untuk skor efisiensi dan peringkat.

Indeks produktivitas Malmquist menguraikan perubahan efisiensi menjadi komponen perubahan teknis dan perubahan efisiensi teknis ketika data temporal tersedia (Cooper et al., 2011).

Stochastic Frontier Analysis (SFA) memperkirakan frontier produksi parametrik yang memisahkan inefisiensi dari noise acak. Bentuk fungsional Cobb-Douglas atau translog mengakomodasi hubungan produksi yang berbeda. Estimasi maximum likelihood memberikan estimasi parameter yang konsisten dan skor efisiensi. Uji pemilihan model membandingkan bentuk fungsional alternatif dan asumsi distribusi. Variabel lingkungan dapat dimasukkan untuk memperhitungkan heterogenitas produksi. Model data panel memisahkan heterogenitas time-invariant dari inefisiensi ketika data yang sesuai tersedia (Kumbhakar & Lovell, 2000).

Analisis dua tahap menguji faktor yang mempengaruhi tingkat efisiensi menggunakan regresi Tobit atau metode lain yang sesuai untuk variabel dependen yang dibatasi. Namun, perkembangan metodologi terbaru menyarankan kehati-hatian dengan pendekatan dua tahap karena potensi bias. Model satu tahap yang langsung menggabungkan variabel penjelasan ke dalam estimasi frontier memberikan pendekatan yang disukai ketika layak. Analisis meta-frontier memungkinkan perbandingan di berbagai lingkungan produksi atau teknologi (Battese & Coelli, 1995).

Analisis kualitas produk menggunakan berbagai pendekatan untuk penilaian komprehensif dampak PHT pada berbagai dimensi kualitas. Hasil analisis laboratorium untuk residu pestisida dibandingkan antara kelompok adopter dan non-adopter menggunakan t-test atau alternatif non-parametrik ketika distribusi non-normal. Koreksi pengujian multipel diterapkan ketika menguji banyak senyawa residu secara bersamaan. Analisis regresi mengontrol faktor lain yang mempengaruhi tingkat residu seperti timing panen, praktik penyimpanan, atau varietas tanaman (Benjamini & Hochberg, 1995).

Analisis nutrisi membandingkan kandungan vitamin, mineral, dan antioksidan antara kelompok perlakuan menggunakan pendekatan statistik serupa. Indeks kualitas menggabungkan berbagai indikator kualitas menjadi skor komposit menggunakan analisis komponen utama atau bobot ahli. Model hedonic pricing

menguji valuasi pasar atribut kualitas dengan meregresikan harga pada karakteristik kualitas. Analisis preferensi konsumen menggunakan choice experiments atau conjoint analysis ketika data primer dikumpulkan tentang preferensi konsumen (Rosen, 1974).

Analisis variasi kualitas menguji tidak hanya perbedaan rata-rata tetapi juga perbedaan dalam konsistensi kualitas menggunakan uji varians atau ukuran dispersi lainnya. Ini mengatasi apakah adopsi PHT mengurangi variabilitas kualitas serta meningkatkan kualitas rata-rata. Analisis time-series menguji pola musiman dalam perbedaan kualitas. Analisis spasial menguji pola geografis dalam hasil kualitas yang mungkin mencerminkan kondisi implementasi atau akses pasar yang berbeda (Levene, 1960).

Analisis kualitatif menggunakan pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi pola, tema, dan wawasan dari transkrip wawancara, catatan lapangan, dan data tekstual lainnya. Analisis tematik melibatkan berbagai putaran pengkodean untuk mengidentifikasi tema dan konsep yang berulang. Pengkodean terbuka awal mengidentifikasi konsep dan kategori dasar tanpa kerangka yang telah ditentukan. Pengkodean aksial menguji hubungan antara kategori dan mengembangkan tema tingkat tinggi. Pengkodean selektif fokus pada tema inti yang memberikan pemahaman komprehensif tentang fenomena (Strauss & Corbin, 1998).

Analisis konten mengkuantifikasi kemunculan tema atau konsep spesifik untuk melengkapi analisis tematik. Analisis naratif menguji bagaimana responden membangun cerita tentang pengalaman adopsi mereka untuk memahami proses meaning-making. Analisis lintas-kasus membandingkan pola di berbagai kasus untuk mengidentifikasi tema umum dan faktor unik. Analisis dalam-kasus memberikan pemahaman terperinci tentang proses adopsi individu dan faktor kontekstual (Miles & Huberman, 1994).

Perangkat lunak analisis data kualitatif berbantuan komputer (CAQDAS) seperti NVivo atau Atlas.ti memfasilitasi pengkodean sistematis, identifikasi pola, dan pengembangan teori. Kemampuan perangkat lunak meliputi pencarian teks, analisis frekuensi kode, pemetaan hubungan, dan pemodelan teori. Namun,

perangkat lunak berfungsi sebagai alat daripada pengganti untuk pemikiran analitis dan wawasan teoretis. Jaminan kualitas meliputi pengkodean ganda dari transkrip sampel untuk menilai reliabilitas antar-penilai dan dokumentasi sistematis keputusan analitis (Bazeley & Jackson, 2013).

Analisis integrasi menggabungkan temuan kuantitatif dan kualitatif untuk mengembangkan pemahaman komprehensif yang melebihi apa yang dapat diberikan oleh pendekatan tunggal. Joint displays secara visual mewakili konvergensi atau divergensi antara temuan kuantitatif dan kualitatif menggunakan matriks atau format grafis lainnya. Meta-inferensi mensintesis wawasan di berbagai pendekatan analitis untuk menghasilkan pemahaman tingkat tinggi (Fetters et al., 2013).

Explanation building menggunakan wawasan kualitatif untuk menginterpretasikan pola kuantitatif dan mengembangkan penjelasan kausal untuk hubungan yang diamati. Hasil kuantitatif mengidentifikasi pola apa yang ada, sementara analisis kualitatif menjelaskan mengapa pola tersebut terjadi dan melalui mekanisme apa. Analisis bukti yang membantah secara aktif mencari kasus atau perspektif yang menantang temuan utama untuk memperkuat rigor analitis dan mengidentifikasi kondisi batas (Yin, 2017).

Pengembangan teori mengintegrasikan temuan empiris dengan kerangka teoretis yang ada untuk memajukan pemahaman proses adopsi. Proposisi teoretis yang diturunkan dari analisis dapat memandu penelitian masa depan dan pengembangan kebijakan. Implikasi praktis mensintesis temuan untuk rekomendasi yang dapat ditindaklanjuti untuk berbagai kelompok pemangku kepentingan termasuk petani, layanan penyuluhan, pembuat kebijakan, dan peneliti (Eisenhardt, 1989).

Berbagai pemeriksaan robustness menilai sensitivitas temuan terhadap keputusan metodologis dan asumsi. Spesifikasi model alternatif menguji apakah hasil robust terhadap bentuk fungsional yang berbeda, definisi variabel, atau metode estimasi. Analisis sub-sampel menguji apakah hubungan konsisten di berbagai jenis petani, wilayah, atau periode waktu. Uji placebo menguji apakah

efek yang tampak terjadi dalam setting dimana seharusnya tidak ada (Rosenbaum, 2002).

Analisis sensitivitas data yang hilang membandingkan hasil menggunakan pendekatan berbeda untuk menangani observasi yang hilang termasuk listwise deletion, multiple imputation, dan full information maximum likelihood. Sensitivitas outlier menguji apakah hasil didorong oleh observasi ekstrem menggunakan metode estimasi robust atau eksklusi outlier. Analisis kesalahan pengukuran menilai potensi bias dari pengukuran yang tidak sempurna dari variabel kunci, khususnya ukuran pendapatan atau intensitas adopsi (Little & Rubin, 2019).

Simulasi Monte Carlo dapat digunakan untuk menilai variabilitas sampling dalam estimator kompleks atau menguji power untuk mendeteksi efek dengan besaran yang ditentukan. Metode bootstrap memberikan interval kepercayaan non-parametrik dan uji signifikansi tanpa asumsi distribusi. Metode jackknife menilai pengaruh observasi individual terhadap hasil kunci (Efron & Tibshirani, 1993).

Analisis statistik menggunakan berbagai paket perangkat lunak yang dipilih untuk kesesuaiannya dengan tugas analitis spesifik. Stata digunakan untuk analisis ekonometrik utama termasuk regresi logistik, metode pencocokan, dan analisis data panel karena kemampuan ekstensifnya dalam ekonometrik mikro terapan dan inferensi kausal. R digunakan untuk analisis khusus termasuk analisis efisiensi DEA, metode bootstrap, dan grafik lanjutan. SPSS digunakan untuk analisis deskriptif dasar dan kontrol kualitas karena antarmuka yang ramah pengguna (StataCorp, 2021).

Perangkat lunak analisis kualitatif termasuk NVivo memfasilitasi analisis sistematis transkrip wawancara dan catatan lapangan. Perangkat lunak manajemen referensi mengorganisir literatur dan memfasilitasi manajemen sitasi. Alat visualisasi data termasuk Tableau atau ggplot2 membuat grafik berkualitas publikasi untuk menyajikan hasil. Sistem kontrol versi melacak keputusan analitis dan memungkinkan reproduktibilitas hasil. Sumber daya komputasi berkinerja tinggi digunakan ketika metode intensif komputasi diperlukan (R Core Team, 2021).

Berbagai tindakan jaminan kualitas memastikan reliabilitas dan validitas hasil analitis. Tinjauan kode melibatkan pemeriksaan independen program analitis oleh peneliti yang berkualifikasi untuk mengidentifikasi kesalahan atau bias. Analisis replikasi menjalankan ulang analisis kunci menggunakan perangkat lunak atau metode yang berbeda untuk memverifikasi konsistensi. Analisis buta melakukan beberapa analisis tanpa pengetahuan tentang hasil yang diharapkan untuk menghindari bias konfirmasi (Miguel et al., 2014).

Protokol dokumentasi memelihara catatan terperinci semua keputusan analitis, asumsi, dan prosedur untuk memungkinkan replikasi dan evaluasi. Memo analitis mencatat alasan di balik pilihan metodologis dan interpretasi hasil. Rencana pra-analisis menentukan analisis kunci di muka untuk membedakan hasil konfirmatori dari eksploratori. Prinsip transparansi memandu pelaporan semua analisis yang dilakukan, bukan hanya yang dengan hasil signifikan (Nosek et al., 2018).