

Proof Of Concept Digitalisasi Sektor Pertanian

Proof of The Concept of Digitizing The Agricultural Sector

¹M. Mujiya Ulkhaq, ²Widhi Netraning Pertiwi, ³Wijayanto, ⁴Lina Wardiya Ningsih

¹Departemen Teknik Industri, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Sudarto No.13, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, 50275, Jawa Tengah

²Program Studi Agribisnis, Universitas Muhammadiyah Bandung, Jl. Soekarno-Hatta No.752, Cipadung Kidul, Kec. Panyileukan, Kota Bandung, 40614, Jawa Barat

^{3,4}Direktorat Ekonomi Digital, Kementerian Komunikasi dan Informatika

¹email korespondensi: ulkhaq@live.undip.ac.id

ABSTRAK

Sebelum suatu kebijakan publik diluncurkan, perlu untuk melakukan *proof of concept* (PoC)—biasanya berskala kecil—guna menunjukkan kelayakan dari kebijakan tersebut. Selain itu, PoC juga dilakukan untuk memberikan bukti bahwa suatu sumber daya yang sudah dimanfaatkan dalam suatu kebijakan dikeluarkan seefisien mungkin, dan bahwa kebijakan tersebut sudah terbukti dengan baik dan dapat dilakukan dalam skala yang lebih besar. Penelitian ini membahas mengenai langkah-langkah melakukan PoC adopsi teknologi di sektor pertanian. Adopsi teknologi yang dimaksud adalah penggunaan perangkat *internet of things* (IoT) yang dilengkapi sensor tanah dan cuaca untuk mendukung proses budidaya pertanian. Perangkat IoT tersebut diharapkan mampu untuk meningkatkan hasil produksi pertanian serta menurunkan biaya produksi pertanian. Langkah-langkah dalam melakukan PoC dalam adopsi teknologi di sektor pertanian adalah: (i) pra-perencanaan, (ii) perencanaan program, (iii) pra-implementasi, (iv) implementasi program, serta (v) evaluasi dampak.

Kata kunci: adopsi teknologi, digitalisasi, pertanian, *proof of concept*

ABSTRACT

Prior to the launching of a public policy, it is necessary to conduct a proof of concept (PoC)—usually on a small scale—to demonstrate the feasibility of the policy. PoC is conducted also to provide an evidence that resources that have been used in that policy is spent efficiently, and that the policy has been well proven and can be implemented on a larger scale. This study discusses the steps to conduct PoC of technology adoption in the agricultural sector. The technology adoption is the use of internet of things (IoT) device which is equipped with soil and weather sensors to support the agricultural practices. The IoT device is expected to increase agricultural production crops and reduce agricultural production costs. The steps in conducting PoC of technology adoption in the agricultural sector are: (i) pre-planning, (ii) planning the program, (iii) pre-piloting, (iv) piloting or implementing the program, and (v) impact evaluation.

Key words: *agriculture, digitalization, proof of concept, technology adoption*

PENDAHULUAN

Pertanian di Indonesia masih memegang peranan penting sebagai salah satu pe-nyumbang devisa negara, dibuktikan dengan kontribusi pada produk domestik regional bruto sektor pertanian pada triwulan II tahun 2021. Sektor pertanian untuk subsektor tanaman pangan mengalami peningkatan positif dari angka sebelumnya, yaitu sebesar 10,32%, disusul juga untuk subsektor hortikultura sebesar 3.02%. Kondisi saat ini, terjadi peningkatan jumlah penduduk sehingga menuntut sektor pertanian untuk terus lebih produktif dalam mencukupi kebutuhan pangan. Jumlah penduduk Indonesia terus tumbuh dari 263,9 juta jiwa pada 2017 menjadi 266,7 juta jiwa pada 2018, hingga pada tahun 2019 penduduk Indonesia telah mencapai 269 juta jiwa. Terakhir, hasil sensus penduduk pada tahun 2020 mencatat jumlah penduduk Indonesia sejumlah 270,20 juta jiwa (BPS, 2021).

Tiap tahunnya luas lahan pertanian semakin menurun dikarenakan alih fungsi lahan. Permasalahan ini cukup pelik melihat kebutuhan pangan yang semakin tinggi berbanding terbalik dengan lahan yang tersedia. Di tambah lagi terdapat ancaman krisis regenerasi petani. Generasi muda sedikit yang tertarik menjadi petani dikarenakan faktor kesejahteraan petani yang masih belum baik. Menurut data dari Badan Pusat Statistik, jumlah pekerja di sektor pertanian turun dari 33% menjadi 29% dalam kurun waktu lima tahun terakhir (BPS, 2020). Lebih lanjut, praktik pertanian konvensional saat ini mengalami tantangan untuk dapat memberikan produktivitas yang lebih baik dengan menggunakan input yang lebih efisien. Data dari Bank Dunia menunjukkan adanya pe-ningkatan penggunaan pupuk per hektar lahan tani dalam rentang tahun 2010 hingga 2014. Tercatat rata-rata penggunaan pupuk sebanyak 181.5 kg/Ha di tahun 2010 dan 211.8 kg/Ha di tahun 2014, atau meningkat 3.9% per tahun.

Saat ini Pertanian 4.0 terus digalakkan. Hal ini sejalan dengan era digitalisasi yang memfasilitasi pengintegrasian informasi untuk tujuan peningkatan produktivitas, efisiensi, dan kualitas layanan. Transformasi digital sektoral adalah agenda utama dari Kementerian Komunikasi dan Informatika (Kemkominfo) saat ini. Kemkominfo telah merancang beberapa inisiasi digitalisasi pada enam sektor strategis, salah satunya di sektor pertanian. Inisiasi digital ini bertujuan untuk melakukan transformasi digital di sektor pertanian dengan cara memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi melalui penggunaan *internet of things* (IoT), *geo-graphic information system* (GIS), dan aplikasi analisis data disertai pengembangan ekosistem pertanian. Diharapkan dengan adanya transformasi digital di sektor pertanian, terdapat peningkatan produktivitas hasil panen dan efisien bahan baku.

Berdasarkan hasil “Kajian Pemetaan Teknologi dan Penyedia Platform Teknologi Digital di Sektor Pertanian” yang telah disusun pada tahun 2020, akan dilakukan implementasi teknologi digital pertanian berupa pemasangan perangkat IoT di sektor pertanian yang dilengkapi sensor tanah dan cuaca untuk mendukung proses pemeliharaan budidaya pertanian. Terkait dengan hal tersebut, pada tahun 2021 akan dilakukan *proof of concept* (PoC) dari proses digitalisasi tersebut. Lokasi PoC terdapat pada tiga wilayah, yaitu Kabupaten Malang dengan komoditas bawang merah, Kabupaten Pasaman Barat dengan komoditas padi, dan Kabupaten Lombok

Tengah dengan komoditas padi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membahas langkah-langkah melakukan PoC adopsi teknologi di sektor pertanian.

Deskripsi Alat *Internet of Things*

Konsep IoT merupakan konsep di mana objek tertentu memiliki kemampuan mentransfer data melalui jaringan tanpa interaksi dari manusia ke manusia atau manusia ke perangkat komputer. Konsep IoT digunakan pada berbagai bidang, seperti pada bidang pertanian, energi, lingkungan, otomatisasi hunian, kesehatan, transportasi, dan masih banyak lagi yang lainnya. Pengaplikasian IoT pada bidang pertanian pada umumnya mencakup pengumpulan data seperti suhu, kelembaban, cuaca, hujan hingga serangan hama pada pertanian. Dari data yang terekam oleh IoT tersebut dapat dijadikan sebagai rujukan bagi petani untuk memperbaiki kegiatan budidayanya sehingga dapat menghasilkan *output* pertanian yang optimum.

Pada penelitian ini, alat IoT yang digunakan pada bidang pertanian adalah sensor, yakni sensor tanah dan cuaca yang dapat mendeteksi suhu, kelembaban tanah, pH (tingkat keasaman), *electrical conductivity* tanah, kelembaban relatif udara, suhu udara, kecepatan dan arah angin, serta curah hujan untuk menentukan perlakuan yang tepat pada lahan. Sensor yang memiliki kemampuan dalam mendeteksi, mengukur, serta mencatat data secara akurat tentang kondisi cuaca pertanian (*agroclimate*) dan tanah pertanian dapat dikontrol melalui aplikasi secara *real time* oleh pengguna *smart-phone*. Sensor yang menggunakan teknologi IoT memiliki fungsi sebagai alat monitoring kondisi cuaca dan tanah pada daerah tertentu biasanya akan diaplikasikan pada areal persawahan, perkebunan atau area lain yang membutuhkan monitoring kondisi cuaca dan tanah. Data IoT yang diambil akan langsung dikirimkan ke *server* secara periodik dengan jangka waktu tertentu, diolah dan terintegrasikan ke *smartphone* atau melalui komputer dengan *web browser*. Hasil pembacaan sensor tersebut dapat langsung dilihat pada aplikasi android atau *web browser*.

Sensor tanah dan cuaca yang berteknologi IoT tersebut dapat bermanfaat untuk petani dikarenakan sensor tersebut akan merekam data-data yang dapat mendukung pada kegiatan usahatani, sehingga saran dan rekomendasi yang akan diberikan oleh sensor tersebut dapat membantu petani dalam pengambilan keputusan pada usahatannya. Hal ini bertujuan meningkatkan hasil produktivitas pertanian yang dijalankan oleh petani pada daerah tertentu tersebut.

Konsep *Proof Of Concept*

Dalam Bahasa Indonesia POC yang disebut “bukti konsep” merupakan suatu frasa yang sering digunakan untuk menggambarkan riset pada tahap awal; dan juga kata kunci (*buzzword*) yang digunakan untuk menunjukkan bahwa suatu riset berpotensi untuk diperbesar skalanya (*scaled-up*).

Menurut Kamus Bahasa Inggris Merriam-Webster, PoC diartikan sebagai “sesuatu yang menunjukkan kelayakan dari suatu konsep (seperti produk, ide, atau rencana bisnis)” (Merriam, 2021). Secara luas, *proof* dalam PoC berarti kemungkinan terjadinya suatu bukti dalam suatu eksperimen; sedangkan *concept* merujuk pada ide (apapun itu) (Kendig, 2016)⁰. Definisi yang lain diberikan oleh *National Science Foundation*, yaitu “realisasi dari suatu metode atau ide untuk

memastikan parameter ilmiah atau teknologinya. PoC harus cukup dipahami sehingga area aplikasi potensialnya dapat diidentifikasi dan proto-tipe lanjutannya dapat dirancang” (National Science Foundation (2014).

Secara mudah PoC adalah suatu peluncuran awal dari sebuah program, proses, metode, prinsip, model, atau pun ide untuk menunjukkan (atau membuktikan) kelayakannya. Sebagai contoh, PoC dapat digunakan untuk menguji apakah suatu teknologi baru dapat berfungsi dengan baik sebelum diluncurkan ke masyarakat luas; apakah suatu kurikulum baru dapat diimplementasikan secara luas pada tahun ajaran berikutnya; atau apakah suatu produk baru yang akan diluncurkan dapat diterima oleh khalayak luas.

Dalam dunia kesehatan, untuk menguji suatu obat atau vaksin baru, dengan alasan etika, maka uji coba akan dilakukan pada skala laboratorium (disebut studi efikasi). Namun pada area sosial, yang berhubungan erat dengan manusia, uji coba di laboratorium tidak dapat dilakukan, sehingga PoC akan dilakukan terhadap manusia namun pada skala yang lebih kecil. Hal ini dapat dianggap suatu prediksi terhadap apa yang akan terjadi apabila hal serupa dilakukan pada skala yang lebih luas (melibatkan masyarakat yang lebih banyak) 0, 0.

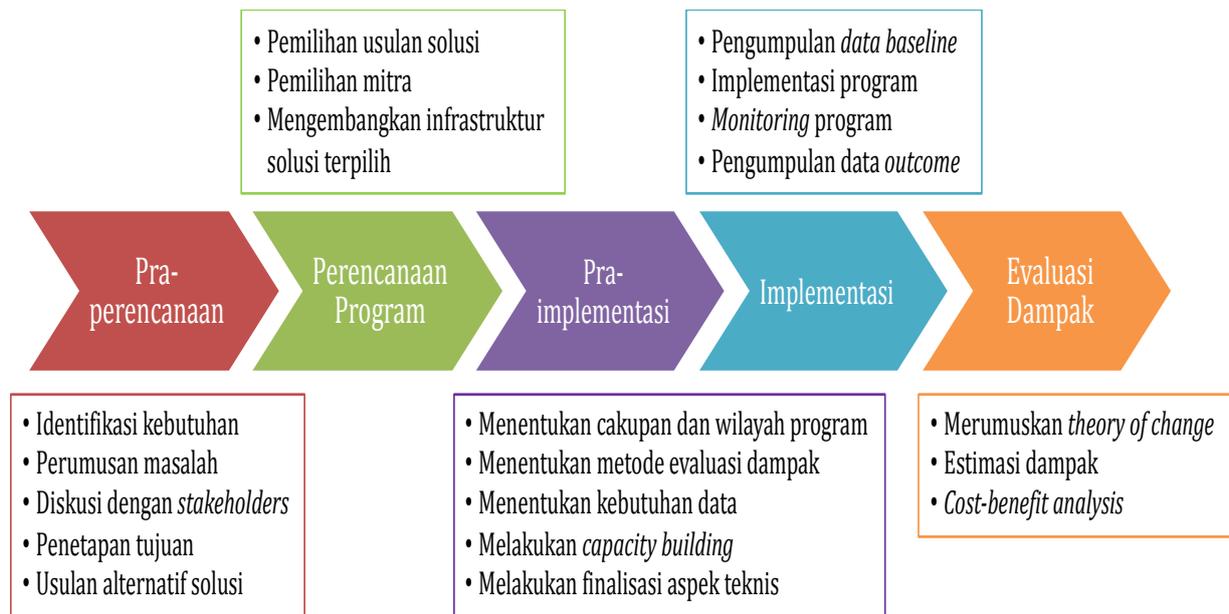
Selain PoC, prototipe juga merupakan istilah yang kadang disamaartikan dengan PoC. Seperti sudah dijelaskan sebelumnya bahwa PoC dilakukan untuk membuktikan kelayakan suatu ide; sedangkan prototipe merupakan realisasi atau implementasi dari suatu ide, atau sebagai model pertama yang dibangun sebelum produk akhir diluncurkan 0. Pembuatan prototipe mendemonstrasikan bagaimana produk akan berjalan, sehingga *end user* mendapatkan gambaran mengenai produk akhir (*final product*).

Kerangka *Proof of Concept*

Langkah-langkah untuk melakukan PoC adopsi teknologi di sektor pertanian adalah: (i) pra-perencanaan, (ii) perencanaan program, (iii) pra-implementasi, (iv) imple-mentasi program, serta (v) evaluasi dampak (lihat Gambar 1).

Pra-perencanaan

Pada tahap ini, peneliti merumuskan kebutuhan dan menyusun kerangka masalah yang akan diselesaikan (biasanya dilakukan dengan studi eksploratif). Peneliti kemudian dapat memetakan pemangku kepentingan (*stakeholders*) yang terlibat, seperti konsumen, petani, penyuluh pertanian, pemerintah pusat dan daerah (dalam hal ini dinas pertanian daerah), serta aktor-aktor lain yang terlibat, seperti konsultan dan akademisi. Diskusi dengan *stakeholders* ini dilakukan agar kebutuhan



Gambar 1. Langkah-langkah melakukan *proof of concep*

Dapat diidentifikasi dan masalah dapat dipetakan. Dalam penelitian ini, masalah yang dapat dipetakan adalah bahwa petani masih menggunakan cara bercocok tanam yang konvensional sehingga terjadi inefisiensi yang menyebabkan produktivitas rendah. Hal ini dikarenakan petani menggunakan pola budidaya yang seperti biasanya dilakukan. Untuk menjawab masalah ini, maka dibutuhkan teknologi yang dapat membantu petani untuk meningkatkan produktivitas hasil pertanian sehingga kesejahteraan para petani dapat meningkat.

Apabila kebutuhan dan masalah telah diidentifikasi, kemudian dapat dirumuskan tujuan yang dapat menyelesaikan masalah; yakni bahwa penggunaan atau adopsi teknologi dirasa dapat membantu meningkatkan produktivitas hasil pertanian sehingga kesejahteraan para petani dapat terangkat.

Setelah tujuan ditetapkan, peneliti dapat mengusulkan beberapa alternatif solusi yang dapat dilaksanakan untuk menjadi bakal solusi dari permasalahan tersebut. Alternatif solusi bisa didapatkan dari studi literatur atau praktik-praktik serupa yang pernah dilakukan di tempat lain. Dalam menyampaikan alternatif solusi, perlu juga untuk menjabarkan hasil (*outcome*) yang diharapkan, bagaimana alternatif solusi bisa mencapai *outcome* tersebut, serta indikator atau parameter keberhasilan.

Perencanaan program

Setelah beberapa alternatif solusi diusulkan, maka langkah selanjutnya adalah memilih alternatif solusi yang akan diterapkan untuk menyelesaikan masalah yang ada. Pemilihan alternatif solusi bisa dilakukan dengan menganalisis dari sisi finansialnya (disebut analisis *cost-effectiveness*¹), dari sisi legal, maupun dari sisi kemudahan praktis-nya. Dalam penelitian ini, solusi berupa adopsi teknologi yang akan digunakan untuk menyelesaikan masalah yang sudah diidentifikasi

¹ Analisis *cost-effectiveness* membandingkan biaya relatif dari dua atau lebih alternatif program yang ditujukan untuk meraih *outcome* yang sama 0.

sebelumnya adalah dengan penggunaan sensor tanah dan cuaca untuk mengetahui kebutuhan tanaman secara *realtime*. Lebih lanjut, petani akan dibekali alat IoT yang dapat menangkap keadaan lahan dari sensor tanah dan cuaca yang ditempatkan pada lahan tersebut. Kemudian, dari informasi yang ditangkap dari sensor tersebut, alat IoT akan memberikan rekomendasi secara *real time* tentang kondisi lahan dan apa yang sebaiknya dilakukan petani. (Untuk lebih detailnya bisa melihat Bab Deskripsi Alat *Internet of Things*.)

Langkah selanjutnya adalah memilih mitra, yang harus didasarkan pada kebutuhan dari solusi terpilih yang akan dijalankan tersebut. Perlu untuk dilakukan identifikasi beberapa mitra yang dianggap kompeten untuk diajak bekerja sama dalam membangun solusi terpilih (apabila perlu, mitra tersebut diminta untuk mengirimkan proposal yang berisi usulan terkait solusi yang terpilih, bisa berupa metode atau pun alat).

Selanjutnya akan dilakukan pengembangan infrastruktur dari solusi terpilih, seperti pengadaan komponen, perakitan komponen, instalasi, serta uji coba alat. Selain itu, juga perlu untuk memperhitungkan sisi pemeliharaan alat, keamanan alat, dan hal-hal lainnya.

Pra-implementasi

Pada tahap ini, peneliti sudah me-netapkan program yang akan dijalankan. Pada penelitian ini, petani akan diberikan bantuan berupa alat IoT dengan harapan akan dapat meningkatkan produktivitas hasil pertanian. Untuk menguji apakah program ini berhasil (efektif) meningkatkan *outcome*, (hasil pertanian), maka perlu untuk melakukan evaluasi dampak (yang merupakan langkah terakhir di PoC).

Setelah program ditetapkan, maka cakupan dan wilayah dari program harus ditentukan. Seperti sudah dijelaskan sebelumnya bahwa PoC dilakukan pada skala yang kecil untuk kemudian dapat diuji kelayakannya agar nantinya dapat diimplementasikan pada skala yang lebih besar. Pada penelitian ini, PoC adopsi teknologi di sektor pertanian akan dilakukan pada tiga kabupaten, yaitu Kabupaten Pasaman Barat, Sumatera Barat, dengan komoditas padi; Kabupaten Malang, Jawa Timur, dengan komoditas bawang merah; dan Kabupaten Lombok Tengah, Nusa Tenggara Barat, dengan komoditas padi. Petani pada tiga lokasi tersebut akan didata dan di-*sampling* guna mengikuti program ini. Selanjutnya petani akan dibagi menjadi dua kelompok, yaitu yang akan berpartisipasi pada program ini (atau mendapatkan bantuan alat IoT), disebut kelompok perlakuan; dan yang tidak menerima bantuan alat IoT (disebut kelompok kontrol).

Langkah selanjutnya adalah menentukan metode evaluasi dampak. Meskipun evaluasi dampak merupakan tahap terakhir dalam PoC, namun hal ini perlu dilakukan di awal agar peneliti dapat menentukan kebutuhan data. Terdapat beberapa metode evaluasi dampak yang ada di literatur, di antaranya *randomized controlled trials* (RCT), *instrumental variables* (IV), *regression discontinuity design* (RDD), *difference-in-differences* (DiD), dan *matching*². Terdapat tiga pertanyaan kunci sebagai panduan untuk memilih metode evaluasi dampak yang sesuai (Gertler dkk., 2016)⁰. Yang pertama terkait ketersediaan sumber daya: apakah pemberi program mempunyai sumber daya yang cukup untuk menutup seluruh biaya yang akan ditimbulkan apabila seluruh partisipan yang berhak menerima program

² Untuk informasi terkait metode evaluasi dampak, lihat referensi terkait seperti 0, 0.

diikutsertakan ke dalam program? Pertanyaan yang kedua adalah siapakah yang berhak menerima program: apakah terdapat kriteria tertentu untuk menentukan partisipan program, misalnya menggunakan suatu indeks dengan *cut-off* yang kontinu? Pertanyaan yang terakhir terkait dengan waktu implementasi: apakah semua partisipan menerima program saat itu juga atau program diberikan secara bertahap? Hubungan antara metode evaluasi dampak dengan tiga pertanyaan kunci tersebut dapat dilihat pada Tabel 1. Metode evaluasi dampak yang digunakan dalam penelitian ini adalah kombinasi antara DiD dan *matching*.

Tabel 1. Panduan menentukan metode evaluasi dampak

Bagaimana keadaan sumber daya?		Terbatas		Tidak terbatas	
		Ada	Tidak ada	Ada	Tidak ada
Adakah <i>continue cut-off</i> ?					
Kapan program diberikan?	Diberikan saat itu juga	RCT	RCT	RCT	RCT
		RDD	IV	RDD	IV
		DiD		DiD	
		DiD dan <i>matching</i>		DiD dan <i>matching</i>	
Diberikan secara bertahap	RCT	RCT	RDD	IV	
	RDD	IV		DiD	
		DiD		DiD dan <i>matching</i>	
		DiD dan <i>matching</i>			

Sumber: Gertler dkk., 20160.

Langkah selanjutnya adalah menentukan data apa saja yang dibutuhkan. Hal ini perlu dilakukan agar pada saat implementasi, peneliti bisa mendapatkan data yang ber-kualitas dan bagus. Selain itu, kebutuhan data ini juga disesuaikan dengan metode evaluasi dampak yang akan digunakan.

Data pertama dan yang paling penting adalah data *outcome* yang terdampak langsung oleh program. *Outcome* harus bersifat SMART: *specific*, *measurable*, *attributable*, *realistic*, dan *targeted*. *Specific* berarti bahwa *outcome* harus spesifik, bukan sesuatu yang umum; *measurable* adalah bahwa *outcome* dapat terukur; *attributable* adalah bahwa *outcome* harus dapat dihubungkan dengan aktivitas dalam suatu program; *realistic* adalah bahwa *outcome* dapat diraih (realistis atau tidak muluk-muluk); dan *targeted* adalah bahwa *outcome* ditargetkan hanya pada populasi yang akan diteliti. *Outcome* pada penelitian ini adalah hasil produksi pertanian.

Berikutnya adalah data mengenai input, aktivitas, dan *output*. Input merupakan sumber daya yang digunakan untuk melaksanakan program; *output* yaitu barang dan jasa yang didapatkan dari proses perubahan input; sedangkan aktivitas yaitu kegiatan yang dilakukan untuk mengubah input menjadi *output*. Data-data lainnya bergantung pada metode evaluasi dampak yang digunakan. Untuk metode kombinasi DiD dan *matching*, data yang dibutuhkan selain *outcome*, input-aktivitas-*output* adalah karakteristik petani dan variabel yang mempengaruhi *outcome* atau hasil produksi pertanian. Variabel tersebut adalah luas lahan, usia dan pengalaman petani, suhu dan kelembaban udara, kelembaban tanah, pendapatan usaha-tani, jumlah benih, pupuk, dan pestisida yang digunakan, serta jumlah tenaga kerja.

Langkah selanjutnya adalah melakukan *capacity building* bagi para anggota tim yang terlibat. Anggota harus mengetahui tentang program yang akan dijalankan dan juga teknologi atau alat yang akan digunakan. Langkah terakhir pada tahap ini adalah melakukan finalisasi aspek teknis dengan mengecek dan memeriksa kembali proses secara keseluruhan.

Implementasi

Sebelum program diimplementasikan, peneliti perlu mengumpulkan *data baseline* (data sebelum program dilaksanakan), yaitu data karakteristik petani dan *outcome* sebelum program berjalan. Pada penelitian ini, program akan dilaksanakan pada tiga kabupaten selama delapan bulan, di mana terdapat dua kelompok petani yang akan dibandingkan: kelompok perlakuan dan kontrol.

Ketika program sudah diimplementasikan, langkah selanjutnya adalah melakukan *monitoring* program. *Monitoring* dilaksanakan pada saat program sudah dilaksanakan. *Monitoring* merupakan suatu proses kontinu yang melacak apa yang terjadi pada suatu program untuk memberikan informasi tentang kondisi dari implementasi program. Dalam penelitian ini, *monitoring* dilakukan setiap hari (*monitoring* harian). Hal-hal yang perlu dilaporkan antara lain apabila terjadi bencana alam; terdapat serangan hama, penyakit, dan gulma yang menyerang tanaman; dan juga kejadian lain yang dapat mengganggu pelaksanaan program, seperti petani yang tidak kooperatif. Khusus untuk kelompok perlakuan, perlu untuk memonitor *output* dari alat IoT (seperti suhu dan kelembaban udara, curah hujan, dan kelembaban tanah) dan apakah alat IoT masih berjalan dengan baik (seperti bagaimana indikator baterai dan indikator sinyal).

Rekomendasi dari alat IoT juga perlu dimonitor dan juga apakah petani menjalankan rekomendasi yang diberikan tersebut. Hal ini menjadi sangat vital dalam pelaksanaan program karena inilah yang menjadi pembeda antara kelompok kontrol dengan kelompok perlakuan.

Langkah terakhir dilakukan setelah program selesai, yaitu mengumpulkan data *outcome*. Data ini nantinya akan dibandingkan dengan *outcome* sebelum program dijalankan. Harapannya terjadi perbedaan yang signifikan antara kelompok perlakuan dan kontrol dengan bantuan alat IoT tersebut.

Evaluasi dampak

Evaluasi dampak merupakan jenis evaluasi yang secara khusus menjawab pertanyaan sebab-akibat (*cause-and-effect*), yakni apakah ada dampak atau efek kausal dari program terhadap *outcome* yang diukur (Imbens dan Rubin, 2008). Secara matematis, jawaban atas pertanyaan apakah ada dampak D dari suatu program P terhadap *outcome* Y adalah sebagai berikut (Gertler dkk., 2016):

$$D = (Y|P=1) - (Y|P=0). \quad (1)$$

Persamaan (1) menyatakan bahwa dampak dari suatu program adalah selisih antara *outcome* kelompok perlakuan ($Y|P=1$) dengan *outcome* kelompok kontrol ($Y|P=0$).

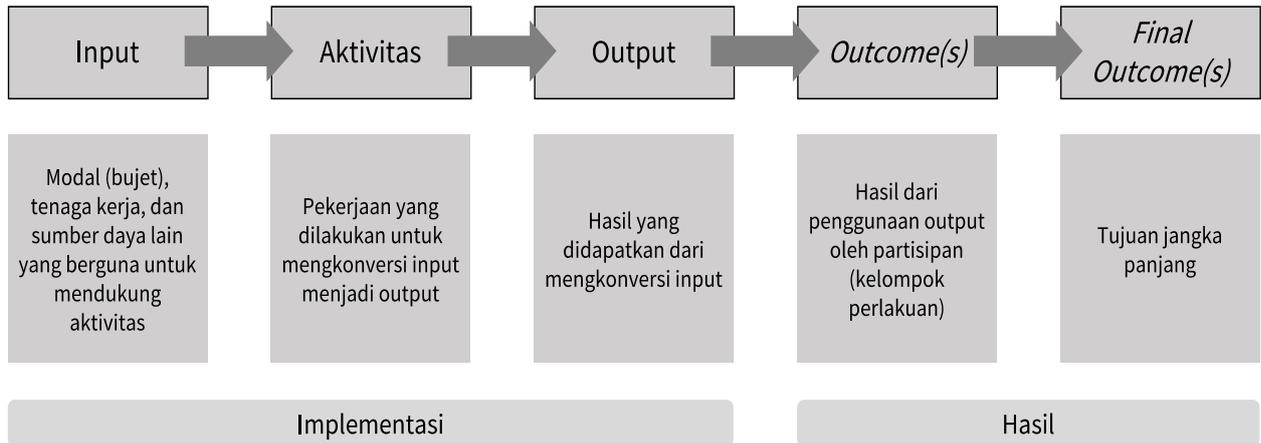
Tahapan dalam melakukan evaluasi dampak meliputi: merumuskan *theory of change* (ToC) atau teori perubahan, estimasi dampak, dan *cost-benefit analysis*.

Langkah pertama adalah merumuskan ToC. Secara umum, ToC membantu menguraikan input, aktivitas, *output*, dan *outcome*. Terdapat beberapa cara untuk merumuskan ToC; penelitian ini akan menggunakan *results chain* karena model ini merupakan yang paling mudah dan paling jelas dalam menjelaskan ToC dalam konteks yang lebih operasional. *Results chain* menggambarkan logika kausalitas sejak awal permulaan program, mulai dari mendata sumber daya yang tersedia sampai pada tujuan akhir atau efek jangka panjang (lihat Gambar 2).

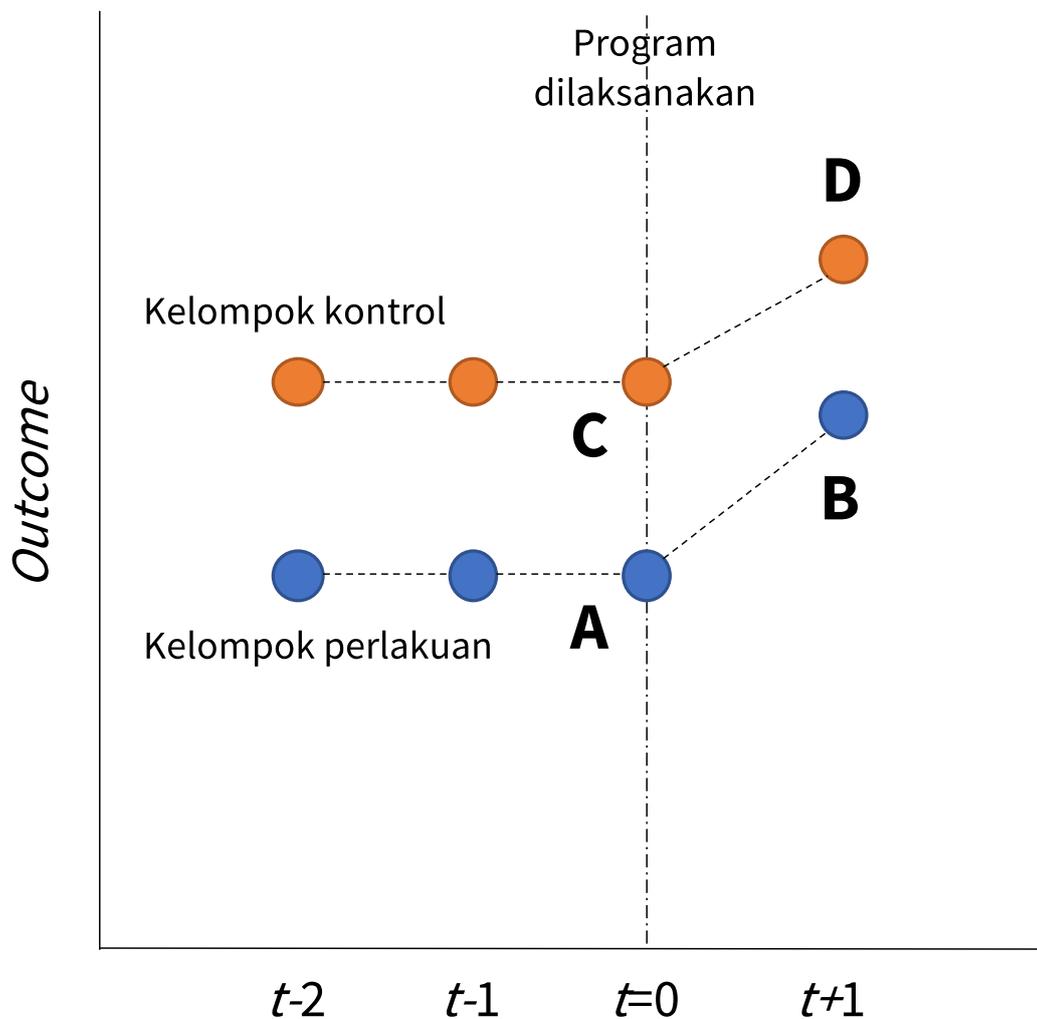
Dampak dapat diestimasi apabila program sudah selesai dilaksanakan dan data yang diperlukan sudah didapatkan. Pada penelitian ini, dampak akan diestimasi dengan menggunakan kombinasi antara *matching* dengan DiD.

Matching (dengan menggunakan metode propensity score matching PSM) dilakukan untuk mendapatkan pasangan kelompok perlakuan dan kontrol. Salah satu tantangan dalam evaluasi dampak adalah menentukan kelompok perlakuan dan kontrol. Kedua kelompok ini diharapkan secara rata-rata tidak berbeda secara statistik ketika pro-gram belum dilakukan. Apabila kedua kelompok tersebut sama (perbedaan yang ada hanyalah pada apakah suatu kelompok berpartisipasi dalam program atau tidak), maka peneliti dapat berkeyakinan bahwa perbedaan *outcome* yang ada berasal dari program yang dilakukan. Oleh karena itu, peneliti perlu mencari *match* (pasangan) dari setiap partisipan di kelompok perlakuan dengan partisipan di kelompok kontrol yang mempunyai karakteristik yang "sama".

Setelah pasangan dari kelompok perlakuan dan kontrol teridentifikasi, maka dampak akan diestimasi dengan menggunakan metode DiD. Pada dasarnya, metode DiD membandingkan perbedaan *outcome* antara kelompok perlakuan dan kontrol pada saat sebelum dan setelah program dilakukan. Perbedaan *outcome* sebelum dan sesudah program dilaksanakan untuk kelompok perlakuan disebut sebagai *the first difference* dan perbedaan *outcome* kelompok kontrol pada saat sebelum dan sesudah program dilaksanakan disebut sebagai *the second difference*. Ilustrasi metode DiD dijelaskan pada Gambar 3. *The first difference*-nya adalah $(B-A)$; sedangkan *the second difference* digambarkan oleh $(D-C)$. Dampak dari program adalah selisih antara *the first difference* dengan *the second difference*, atau $(B-A) - (D-C)$; atau secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:



Gambar 2. Elemen *results chain*



Gambar 3. Ilustrasi metode DiD

$$DD = \{E[Y_{t=1}|P=1] - E[Y_{t=0}|P=1]\} - \{E[Y_{t=1}|P=0] - E[Y_{t=0}|P=0]\}. \quad (2)$$

DD adalah dampak yang diukur, $E[Y_{t=1}|P=1]$ adalah nilai ekspektasi atau rata-rata *outcome* untuk kelompok perlakuan pada $t=1$ atau setelah program dilaksanakan, dan $E[Y_{t=0}|P=1]$ adalah rata-rata *outcome* untuk kelompok perlakuan pada $t=0$ atau sebelum program dilaksanakan. Analog dengan penjelasan sebelumnya, $E[Y_t|P=0]$ adalah rata-rata *outcome* untuk kelompok kontrol.

DiD dapat pula direpresentasikan dalam kerangka analisis regresi linier. Secara umum, model regresinya adalah:

$$Y_{igt} = b_1P_i + b_2t + dP_it + a_g + q_t + e_{igt}. \quad (3)$$

Y_{igt} adalah *outcome* untuk partisipan i pada kelompok g (perlakuan atau kontrol) di tahun ke- t ; P_i adalah variabel biner yang bernilai 1 untuk kelompok perlakuan dan 0 untuk kelompok kontrol; t adalah variabel biner yang bernilai 1 apabila *outcome* diukur saat program sudah berjalan dan 0 ketika program belum berjalan; b_1 , b_2 , dan d adalah koefisien regresi yang akan diestimasi; a adalah *time-invariant group-level fixed effect*, yang merepresentasikan perbedaan antara kelompok perlakuan dan kontrol yang dianggap konstan dari waktu ke waktu; q adalah *time-invariant fixed effect* yang merepresentasikan pengaruh yang konstan untuk masing-masing periode; dan e adalah *error* (galat). *The first difference*-nya adalah $Y_{i11} - Y_{i10} = b_2 + d + (q_1 - q_0) + (e_{i11} - e_{i10})$; dan *the second difference*-nya adalah $Y_{i01} - Y_{i00} = b_2 + (q_1 - q_0) + (e_{i01} - e_{i00})$. Seperti sudah dibahas sebelumnya bahwa dampak dari program adalah selisih *the first difference* dan *the second difference*: $DD = (Y_{i11} - Y_{i10}) - (Y_{i01} - Y_{i00}) = d + (e_{i11} - e_{i10} - e_{i01} + e_{i00})$, sehingga dampak yang diestimasi adalah d .

Cost-benefit analysis

Dalam analisis *cost* dan *benefit*, akan digunakan pendekatan analisis kelayakan usahatani, yang memotret bagaimana keadaan finansial dari suatu usahatani, mencakup biaya, penerimaan, pendapatan, dan keuntungan dari usahatani. Biaya total dari suatu usaha tani terdiri dari biaya implisit dan biaya eksplisit. Biaya implisit merupakan biaya yang tidak dikeluarkan secara langsung atau yang tidak benar-benar dikeluarkan dalam suatu kegiatan usahatani, seperti tenaga kerja dalam keluarga dan biaya lahan sendiri. Sedangkan biaya eksplisit adalah biaya yang terlihat secara fisik, misalnya berupa uang atau barang yang dikeluarkan secara langsung dalam kegiatan usahatani. Yang termasuk biaya eksplisit di antaranya biaya tenaga kerja luar keluarga, biaya obat-obatan, dan biaya penyusutan alat. Secara matematis, biaya total dapat dituliskan sebagai berikut:

$$TC = TCE + TCI, \quad (4)$$

TC adalah biaya total usahatani, TCE adalah biaya eksplisit, dan TCI adalah biaya implisit (semua dalam satuan mata uang atau Rp).

Penerimaan dari suatu usahatani TR (dalam satuan mata uang atau Rp) dihitung dari hasil kali antara hasil produksi (*output*) yang diperoleh selama periode produksi Y (dalam satuan kg) dengan harga jual dari hasil produksi tersebut P_y

(Rp/kg). Sedangkan pendapatan dari suatu usaha tani FI (dalam satuan mata uang atau Rp) diperoleh dari pengurangan biaya eksplisit dari penerimaan, atau secara matematis dapat ditulis:

$$FI = TR - TCE. (5)$$

Keuntungan dari suatu usaha tani P (dalam satuan mata uang atau Rp) dihitung dengan mengurangkan biaya total TC dari penerimaan TR .

Untuk mengetahui kelayakan dari suatu usaha tani, digunakan R/C ratio dan B/C ratio. R/C ratio adalah rasio antara penerimaan (*revenue*) dan total biaya (*cost*), atau secara matematis adalah $R/C = TR/TC$. Apabila nilai dari R/C adalah lebih dari satu, maka usahatani dikatakan layak; apabila sama dengan 1, usahatani disebut impas; dan apabila nilai dari R/C kurang dari satu, maka usahatani dikatakan tidak layak diusahakan. B/C ratio adalah rasio antara pendapatan (*benefit*) dengan total biaya, atau secara matematis dapat ditulis $B/C = FI/TC$. Apabila nilai dari B/C adalah lebih dari satu, maka usahatani dikatakan layak; apabila sama dengan 1, usahatani disebut impas; dan apabila nilai dari B/C kurang dari satu, maka usahatani dikatakan tidak layak untuk diusahakan.

KESIMPULAN

Kemkominfo mempunyai agenda utama berupa transformasi digital sektoral, dengan dirancangnya beberapa inisiasi digitalisasi pada enam sektor strategis, salah satunya di sektor pertanian. Terkait dengan hal tersebut, pada tahun 2021 akan dilakukan PoC dari proses digitalisasi tersebut pada tiga wilayah, yaitu Kabupaten Malang dengan komoditas bawang merah, Kabupaten Pasaman Barat dengan komoditas padi, dan Kabupaten Lombok Tengah dengan komoditas padi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membahas langkah-langkah melakukan PoC adopsi teknologi di sektor pertanian. Langkah-langkah untuk melakukan PoC adalah: (i) pra-perencanaan, (ii) perencanaan program, (iii) pra-implementasi, (iv) implementasi program, serta (v) evaluasi dampak.

Pada langkah pertama, perlu untuk melakukan identifikasi kebutuhan, merumuskan masalah, berdiskusi dengan *stakeholders* untuk menetapkan tujuan, serta mengusulkan beberapa alternatif solusi untuk menyelesaikan masalah yang ada. Pada langkah kedua, dilakukan pemilihan usulan solusi, pemilihan mitra, dan pengembangan infrastruktur dari solusi yang terpilih.

Setelah program ditetapkan, maka pada langkah ketiga ditentukan cakupan dan wilayah program, metode evaluasi dampak yang akan dilakukan nantinya, kebutuhan datanya, serta dilakukan *capacity building* bagi anggota tim. Terakhir, dilakukan finalisasi aspek teknis.

Pada langkah keempat, sebelum program berjalan, perlu untuk melakukan pengumpulan *data baseline*. Setelah program berjalan, maka dilakukan *monitoring* untuk memonitor jalannya program. Setelah program berjalan, data *outcome* harus dikumpulkan. Langkah terakhir pada PoC adalah evaluasi dampak, yang menguji apakah alat IoT mampu memberikan dampak yaitu meningkatnya produktivitas pertanian.

Acknowledgement

Penelitian ini didanai oleh APBN-DIPA Kementerian Komunikasi dan Informatika tahun anggaran 2021, dengan judul kegiatan “Evaluasi Dampak Digitalisasi Sektor Pertanian”.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik (2021). Hasil sensus penduduk 2020. *Berita Resmi Statistik No. 7/01/Th. XXIV, 21 Januari 2021*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Badan Pusat Statistik (2020). Penduduk 15 tahun ke atas yang bekerja menurut lapangan pekerjaan utama 1986 – 2020, dari <https://www.bps.go.id/statictable/2009/04/16/970/penduduk-15-tahun-ke-atas-yang-bekerja-menurut-lapangan-pekerjaan-utama-1986---2020.html>.
- Merriam-Webster. (n.d.). Proof of concept. In *Merriam-Webster.com dictionary*. Diakses 21 Juni 2021, dari <https://www.merriam-webster.com/dictionary/proof%20of%20concept>
- Kendig, C. E. (2016). What is proof of concept research and how does it generate epistemic and ethical categories for future scientific practice? *Science and Engineering Ethics, 22*, 735-753.
- National Science Foundation (2014). *Program solicitation: Accelerating innovation research-technology transla-tion* (NSF 14-569). Directorate for Engineering, Industrial Innovation and Partnerships. Diakses 21 Juni 2021, dari <https://www.nsf.gov/pubs/2014/nsf14569/nsf14569.htm>
- Chassang, S., Miquel, G., & Snowberg, E. (2012). Selective trials: A principal-agent approach to randomized controlled experiments. *The American Economic Review, 102*(4), 1279-1309.
- Banerjee, A., Banerji, R., Berry, J., Duflo, E., Kannan, H., Mukerji, S., Shotland, M., & Walton, M. (2017). From proof of concept to scalable policies: Challenges and solutions, with an Application. *Journal of Economic Perspectives, 31*(4), 73–102.
- Laukat, T. (2020). Software vendor selection using proof of concepts. *Seminar IT-Management in the Digital Age*, Wedel, Germany.
- Gertler, P. J., Martinez, S., Premand, P., Rawlings, L. B., & Vermeersch, C. M. J. (2016). *Impact Evaluation in Practice* (2nd ed.). Washington, D.C.: Inter-American Development Bank and World Bank.
- Khandker, S. R., Koolwal, G. B., & Samad, H. A. (2010). *Handbook on Impact Evaluation: Quantitative Methods and Practices*. Washington, D.C.: World Bank.

Imbens, G.W. & Rubin, D.B. (2008). Rubin causal model. In S.N., Durlauf & L.E., Blume (Eds.). *The New Palgrave Dictionary of Economics* (2nded.).