MEMAHAMI PENGEMBANGAN TEKNOLOGI DAN PRODUK INDUSTRI PROSES DARI TAHAP RISET KE TAHAP KOMERSIAL: STUDI KASUS PENGEMBANGAN INDUSTRI FERCAF

UNDERSTANDING TECHNOLOGY AND PRODUCT DEVELOPMENT OF PROCESS INDUSTRY, FROM RESEARCH TO COMMERCIALIZATION: A CASE STUDY ON FERCAF INDUSTRY DEVELOPMENT

Made Tri Ari Penia Kresnowati[1], Yazid Bindar[2]

Kelompok Keahlian Teknologi Pengolahan Biomassa dan Pangan,
Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung[1,2]

kresnowati@che.itb.ac.id

ABSTRACT

Technology and products are developed based on innovation, through sequential stages from basic research to commercialization. The concept of Technology Readiness Level (TRL) defines technology development into nine stages, from idea generation (TRL 1) to the development of technology and products for commercialization (TRL 9). Leaping from one implementation stage to another in technology development may result in technological valley of death. The process industry is a group of industries that involve chemical processes in converting raw materials into products via series of unit processes. Technology development for the process industry can also be defined in stages of technology readiness levels, by using adapted specific targets for each stage. This paper presents a concept for assessing the development of technology for the process industry. A case study on analyzing technology readiness level for the technology development for the Fercaf industry is presented along with factors involved.

Keywords: *fercaf, process industry, Technology Readiness Level*

ABSTRAK

Teknologi dan produk dikembangkan atas dasar inovasi sebaiknya dilakukan melalui tahapan-tahapan berurut mulai dari riset dasar menuju komersialisasi. Konsep Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT) atau *Technology Readiness Level (*TRL) merumuskan tahapan-tahapan pengembangan teknologi dan produk dalam sembilan tahap, mulai dari tahap pengembangan ide (Tahap 1) sampai dengan tahap pengembangan teknologi dan produk untuk dapat dikomersialkan (Tahap 9). Pelaksanaan pengembangan teknologi dengan cara loncat tahap dapat berkonsekuensi jatuh ke Lembah Kematian Teknologi (*Technological Valley of Death)*. Industri proses merupakan kelompok industri spesifik yang melibatkan proses kimia dalam pengolahan bahan baku menjadi produk melalui rangkaian unit-unit proses. Pengembangan teknologi industri proses juga dapat dirumuskan dalam tahapan-tahapan tingkat kesiapan teknologi dengan menggunakan target capaian masing-masing tahap yang telah disesuaikan. Artikel ini menyampaikan rumusan penahapan pengembangan teknologi untuk industri proses. Sebagai contoh diuraikan analisis tingkat kesiapan teknologi pengembangan industri fercaf, berikut faktor-faktor yang memengaruhinya.

Kata kunci: fercaf, industri proses, Tingkat Kesiapan Teknologi

PENDAHULUAN

Produk atau teknologi yang sudah digunakan secara komersial dikembangkan melalui tahapan-tahapan yang berproses. Keandalan produk dan teknologi ini selalu ditingkatkan secara berkelanjutan sehingga selalu unggul bersaing dengan kompetitor. Sebaliknya, keberhasilan sebuah inovasi juga ditentukan oleh keberhasilan komersialisasi produk atau teknologi tersebut.

Pengembangan teknologi dan produk untuk dikomersialkan merupakan sebuah investasi usaha yang berbasiskan pada inovasi. Konsep inovasi sendiri dapat ditinjau berdasarkan dua sudut pandang yang berbeda (Dhewanto dkk, 2014). Pendekatan pertama meninjau inovasi sebagai proses dan mendefinisikan inovasi sebagai hasil kreativitas individu, budaya organisasi, kondisi lingkungan, dan faktor-faktor sosio ekonomi. Pendekatan kedua meninjau inovasi sebagai hasil dan mendefinisikan inovasi sebagai produk yang dibuat atau penciptaan produk yang memiliki nilai tambah. Secara keseluruhan, inovasi dilahirkan untuk menjawab permasalahan mendatang. Kemampuan memperkirakan kebutuhan-kebutuhan hidup mendatang merupakan kunci dalam menggagas inovasi. Inovasi ditindak-lanjuti karena keyakinan penuh bahwa produk inovasi ini akan menjadi produk industri masa depan. Kepemimpinan inovasi dilahirkan oleh para ilmuwan, inovator dan pebisnis yang visioner.

Kebutuhan bangsa akan kehidupan yang lebih baik terus meningkat. Di masa awal sumber pembiayaan pembangunan Indonesia di antaranya diperoleh dari eksplorasi sumber daya alam Indonesia, terutama minyak bumi. Jumlah yang signifikan dihasilkan dari pengolahan sumber daya alam minyak bumi yang ada di bumi Indonesia, menggunakan teknologi produksi minyak bumi yang berasal dari Amerika Serikat sebagai negara yang sudah memulai memproduksi minyak bumi semenjak awal tahun 1800. Selanjutnya, inovasi dan produk teknologi dari pihak-pihak luar mengakar terus dalam perekonomian Indonesia. Setiap yang diinginkan dalam produk teknologi oleh perekonomian Indonesia selalu tersedia di pasar internasional, maka pemenuhan kebutuhan teknologi Indonesia melalui belanja internasional mengakar kuat dalam perekonomian Indonesia. Usaha pengembangan sendiri dari awal teknologi yang akan dibutuhkan menjadi sulit terwujud. Kondisi inilah yang dilalui sekarang. Pihak-pihak produsen teknologi dan produk industri dunia dengan segala cara akan mempermanenkan kebergantungan Indonesia.

Sejatinya pendidikan tinggi ilmu dan teknologi Indonesia sudah membuahkan banyak ilmuwan dan insinyur untuk dunia industri Indonesia. Pendidikan tinggi ilmu dan teknologi yang mengarah ke industri di Indonesia sudah bermula awal tahun 1950. Walaupun THS Bandoeng sudah didirikan oleh Belanda tahun 1920, dapat dikatakan bahwa THS Bandoeng didirikan untuk keperluan Belanda saat itu. Barulah setelah kemerdekaan Indonesia, THS Bandoeng dimerdekakan dan dialihkan sebagai Institut Teknologi Bandung (ITB) yang merupakan sarana pencerdasan anak bangsa. Kemampuan anak negeri terhadap teknologi dalam kurun waktu 1950 - 1970 boleh dikatakan dalam tahap merangkak. Penumbuhan kemampuan pengembangan teknologi dan produk komersial di dalam negeri mungkin sudah diletakkan dasar-dasarnya dalam dekade 1970-1980. Peningkatan kemampuan sumber daya manusia dalam pengembangan teknologi mulai diwujudkan secara signifikan dalam dua dekade selanjutnya. Secara umum kemampuan pengembangan teknologi dan produk ini berhubungan langsung dengan jumlah sumber daya manusia yang memiliki kualifikasi pendidikan tingkat doktor (Strata 3) di bidang sain dan teknologi.

Keinginan dan harapan pemimpin Indonesia terhadap kemandirian anak bangsa terhadap teknologi dan produk industri pun tidak pernah berhenti. Hal ini di antaranya dituangkan dalam bentuk kebijakan, perencanaan, dan program. Mungkin karena keinginan pemimpin kita terlalu kuat dan besar, terkadang ketidaksabaran dari pemimpin kita muncul. Mungkin ada hakiki pengembangan teknologi dan produk industri secara kesinambungan belum banyak diketahui, dipahami, dan diterima.

Indonesia perlu menyadari pentingnya inovasi teknologi dan produk dalam negeri terhadap untuk perekonomian Indonesia yang berkelanjutan. Terutama terkait proses dan teknologi yang mengolah bahan baku lokal yang khas Indonesia, seperti sawit, cengkeh, singkong, dan rempah-rempah. Inovasi harus ditindaklanjuti untuk mencapai ke tahap komersial. Untuk itu, tahapan-tahapan pengembangan teknologi dan produk industri perlu dipahami dengan baik oleh setiap pengambil kebijakan dan berbagai pihak lain yang terkait, termasuk ilmuwan, insinyur, dan pengembang teknologi. Dalam tulisan ini dipaparkan tahapan-tahapan umum dalam pengembangan teknologi dan produk industri, khususnya industri proses. Secara spesifik akan diuraikan studi kasus tentang analisis tahapan-tahapan pengembangan teknologi dalam pengembangan industri fercaf, ketika riset dan pengembangannya telah dilakukan di kelompok riset penulis selama kurang lebih satu dekade terakhir.

TAHAPAN DAN TINGKATAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI DAN PRODUK KOMERSIAL

Indonesia sudah mulai menggunakan penahapan pengembangan teknologi dan produk yang terukur, yang dinyatakan dalam metode pengukuran Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT) atau *Technological Readiness Level* (TRL). Tahun 2005 BPPT menggunakan pengukuran TKT dalam pengujian teknologi yang mereka kembangkan. Dokumen awal tentang TKT ini diwujudkan dalam sebuah panduan TKT (Arwanto dkk, 2011) dan diikuti dengan dokumen sosialisasi TKT (Prayitno, 2012). Makalah yang menjelaskan TKT ini ditulis oleh Arwanto dan Prayitno (Arwanto dan Prayitno, 2013).

TKT atau TRL yang digunakan di Indonesia pada dasarnya mengacu kepada TRL yang disusun oleh NASA, sebagaimana dijabarkan pada Gambar 1. Tahap-tahap pengembangan teknologi dan produk komersial dirumuskan juga oleh ESA Eropa, EC Eropa, DOE USA dan API 17 N. Rumusan tersebut umumnya tidak menunjukkan perbedaan yang spesifik dengan rumusan NASA, kecuali rumusan API 17 N yang hanya terdiri atas tujuh tahapan (Tabel 1). BPPT Indonesia mengadopsi TRL NASA menjadi TKT Indonesia. Saat ini, sistem ini digunakan oleh Kementerian Ristek dan Dikti dalam menentukan TKT setiap penelitian dan pengembangan teknologi di Indonesia.



Gambar 1 Tahapan pengembangan teknologi dan produk komersial dalam TKT disusun dan digunakan oleh NASA

TABEL I BERBAGAI RUMUSAN TAHAPAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI DAN PRODUK KOMERSIAL

Tahap	NASA	ESA Eropa	EC Eropa	DOE USA	API 17N
1	*Basic principles observed and reported*	*Basic principles observed and reported*	*Basic principles observed*	*Scientific research begins translation to applied R&D*	*Unproven idea/proposal paper concept*
2	*Technology concept and/ or application formulated*	*Technology concept and/ or application formulated*	*Technology concept formulated*	*Invention begins – once basic principles are observed, practical applications can be invented*	*concept demonstrated*
3	*Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof of concept*	*Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof of concept*	*Experimental proof of concept*	*Active R&D is initiated – active research and development is initiated*	*Concept validated*
4	*Component and/ or breadboard validation in laboratory experiment*	*Component and/or breadboard validation in laboratory experiment*	*Technology validated in laboratory*	*Basic technological components are integrated*	*Technology qualified for first use Full-scale prototype built and technology qualified through testing in intended environment, simulated or actual*
5	*Component and/ or breadboard validation in relevant environment*	*Component and/or breadboard validation in relevant environment*	*Technology validated in relevant environment*	*Fidelity of breadboard technology improves significantly*	*Technology integration tested Full-scale prototype built and integrated into intended operating system with full interface and functionality tests*
6	*System/ subsystem model or prototype demonstration in a relevant environment (ground or space)*	*model demonstrating the critical functions of the element in a relevant environment*	*Technology demonstrated in relevant environment*	*Model/prototype is tested in relevant environment – representative model or prototype system*	*Technology installed full-scale prototype built and integrated into intended operating system with full interface and functionality test program in intended environment*
7	*System prototype demonstration in an operational environment*	*Model demonstrating the element performance for operational environment*	*System prototype demonstration in operational environment*	*Prototype near or at planned operational system*	*Technology installed full scale prototype built and integrated into intended operating system with full interface*
8	*Actual system completed and flight qualified through test and demonstration (ground or space)*	*Actual system completed and accepted for flight (flight qualified)*	*system complete and qualified*	*Technology is proven to work – actual technology completed and qualified through test and demonstration*	
9	*Actual system 'flight proven' through successful mission operations*	*Actual system 'flight proven' through successful mission operations*	*Actual system proven in operational environment*	*Actual application of technology is in its final form – technology proven through successful operations*	

TAHAPAN DAN TINGKATAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI DAN PRODUK INDUSTRI PROSES

Masing-masing kelompok teknologi dan produk memiliki karakteristik yang berbeda. Walaupun jumlah tahapan pengembangan dapat distandarkan menjadi sembilan tahapan, tujuan masing-masing tahapan pengembangan perlu disesuaikan dengan karakteristik teknologi dan produknya.

Teknologi dan produk industri proses, termasuk industri pemrosesan bahan pangan, memiliki karakter yang berbeda dengan teknologi lain. Industri proses melibatkan proses kimia dalam pengolahan bahan baku menjadi produk, bahan lain, atau energi yang bernilai tambah ekonomi. Teknologi industri proses dibangun oleh rangkaian unit-unit proses yang disusun berdasarkan urutan prosesnya. Masing-masing unit proses mungkin memiliki subunit proses atau beberapa mesin-mesin pendukung. Bahan yang diolah dialirkan dari satu unit proses ke unit proses lainnya.

Kinerja teknologi proses ini didasarkan atas kinerja masing-masing unit proses dan juga kinerja proses yang terintegrasi. Kinerja teknologi proses juga dipengaruhi oleh skala operasi yang dijalankan. Secara umum teknologi proses dikembangkan pada skala laboratorium kemudian dapat dinaikkan skalanya berturut-turut menjadi skala bangku (*bench scale*), skala pilot, dan skala komersial/ industri.

Dalam penyusunan tahapan pengembangan teknologi dan produk industri proses, tahapan pengembangan teknologi dan produk pada Tabel 1 dan Gambar 1 perlu disesuaikan dengan karakteristik unik industri proses. Awalnya salah satu penulis menetapkan sebelas tahap pengembangan teknologi dan produk industri proses (Bindar, 2016). Tahapan ini disusun kembali menjadi 9 tahap oleh Bindar (Bindar, 2016). Tahapan-tahapan tersebut adalah:

1. perumusan ide produk atau teknologi,
2. riset dasar tentang ide yang sudah dirumuskan skala laboratorium,
3. riset awal aplikasi dari riset dasar pada skala bangku,
4. riset produksi pada skala pilot,
5. riset sistem teknologi produksi pada skala persiapan semikomersial,
6. riset sistem teknologi produksi pada skala semikomersial,
7. pengembangan sistem teknologi produksi mendekati kondisi komersial,
8. pengembangan sistem teknologi produksi untuk uji komersial, dan
9. pengembangan sistem teknologi produksi komersial, pematangan keamanan dan keandalan operasi, pencapaian kapasitas produksi dan peningkatan efisiensi sistem produksi.

Capaian tahapan-tahapan di atas secara berurut dikuantifikasi dengan TKT 1 sampai 9. Tahap 1 - 6 digolongkan sebagai kegiatan riset. Tahap 6 - 9 digolongkan sebagai kegiatan pengembangan. Tingkat kesiapan teknologi proses dengan tahap-tahap yang diusulkan ini dirangkum pada Gambar 2.



Gambar 2 Tahapan dan tingkatan pengembangan teknologi dan produk industri proses komersial (Bindar, 2016)

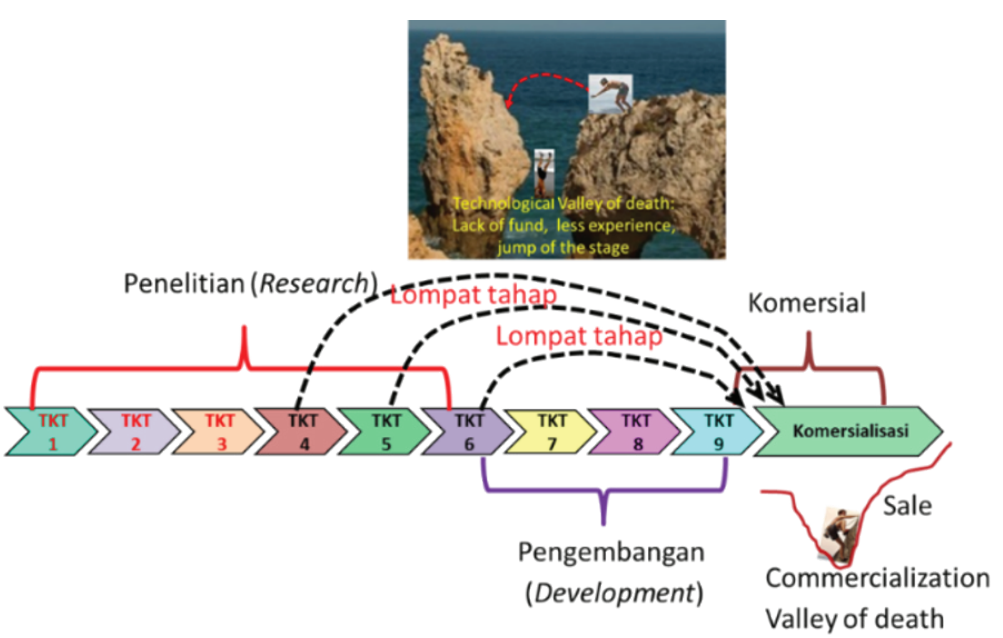
Setelah mencapai TKT 9 diharapkan teknologi dan produk yang dikembangkan telah menunjukkan kinerja yang dituju. Capaian TKT 9 menunjukkan bahwa kinerja teknologi tersebut handal (*reliable technology*), matang (*mature technology*), dan terbukti (*proven technology*). Tingkat kesiapan teknologi ini hanya dapat dicapai bila teknologi itu telah dirancang, dibuat,

dipasang, dan dioperasikan pada ukuran dan kondisi komersialnya. Pada tahapan ini kinerja teknologi diharapkan tidak lagi memiliki risiko kegagalan operasi dan produksi yang diakibatkan oleh permasalahan bawaan teknologi itu sendiri. Permasalahan teknologi, termasuk permasalahan yang terkait dengan peningkatan skala operasi, sudah diselesaikan pada tahapan TKT 5 - 8 (Gambar 2). Perjalanan TKT ini diuraikan pada Gambar 3. Kondisi teknologi dan produk dengan TKT enam merupakan kondisi yang memberikan sebuah keyakinan ilmiah dan teknik untuk dapat dikembangkan menuju tahap sembilan sebagai tahap komersial dengan TKT 9.

Perbedaan kinerja teknologi dan produk pada satu tingkat TKT dengan kinerja pada TKT 9 disebut sebagai celah kinerja (*performance gap*). Celah kinerja juga menunjukkan perbedaan kinerja sebuah elemen proses pada kondisi operasi dengan rancangan. Celah kinerja ini akan berakibat pada masalah dengan tingkat antara ringan dan berat. Pengembangan teknologi diindikasikan oleh pencapaian celah kinerja yang kecil dan bahkan nol.

Kinerja teknologi proses dibangun oleh kinerja elemen-elemen pembentuknya. Kompleksitas pencapaian kinerja proses keseluruhan ditentukan juga oleh jumlah elemen-elemen pembentuknya. Elemen-elemen pembentuk itu antara lain unit proses *stationary*, material dan struktur konstruksi, ruangan, sensor, instrumen kendali, dan lain-lain. Makin banyak elemen yang terlibat, teknologi prosesnya makin kompleks. Bindar (2016) merumuskan celah kinerja untuk keseluruhan teknologi produksi sebagai fungsi dari celah kinerja masing-masing elemen. Pada teknologi proses yang kompleks, celah kinerja yang tidak diinginkan makin mendominasi permasalahan dalam pengembangan teknologi.

Pengembangan teknologi yang dilakukan tidak secara runut, tidak mengikuti tahapan-tahapan TKT yang berlaku, atau dengan kata lain melakukan lompat tahap (Gambar 3), meningkatkan derajat ketidakpastian kinerja atau memperbesar celah kinerja teknologi tersebut. Hal ini memperbesar peluang kegagalan pengembangan teknologi dan dapat menyebabkan pengembang terjerumus ke dalam lembah kematian (*technological valley of death*)



Gambar 3 Perjalanan tahap demi tahap pengembangan teknologi dan produk pada capaian TKT-nya dengan keberhasilan membangun jembatan untuk melalui kondisi lembah kematian (*valley of death*) teknologi dan komersialisasi

Teknologi yang sudah terbukti dengan TKT 9 sudah diketahui secara pasti kinerja dan juga celah kinerjanya. Ini berarti bahwa pengembang sudah memiliki informasi kinerja teknologi ini dalam tahap komersial sehingga pengembang mampu memberikan jaminan-jaminan kinerja prosesnya pada tahap komersial berikutnya.

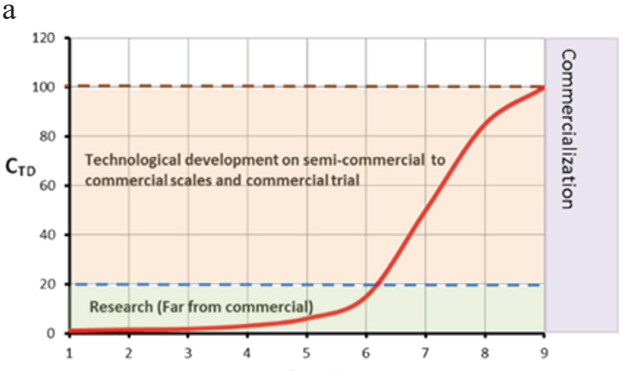
FAKTOR PENENTU KEBERHASILAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI DAN PRODUK INDUSTRI PROSES

Faktor teknis, pembiayaan, dan komersial

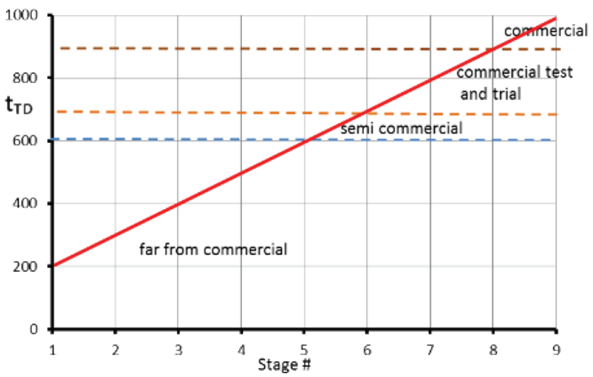
Pengembangan teknologi dan produk, mulai dari tahapan riset sampai pengembangan memerlukan dukungan sumber daya. Semakin besar skala operasi pengujian teknologi tersebut, semakin besar pula biaya yang diperlukan (Gambar 4a). Pengembangan teknologi dan produk secara runut mengikuti tahapan pengembangan teknologi juga membutuhkan waktu yang tidak sebentar (Gambar 4b) dan dengan demikian membutuhkan kesabaran dan ketekunan pengembang teknologi yang terkait. Tahapan pengembangan teknologi ini juga perlu dijalankan dengan runtut dan tuntas untuk menurunkan celah kinerja dari teknologi dan produk yang dikembangkan tersebut sehingga diperoleh kondisi nyata kinerja skala komersial (Gambar 4c).

Pengembangan teknologi tidak secara runtut mengundang risiko yang diibaratkan sebagai lembah kematian atau *valley of death* (Jenkins dan Mansur, 2011). Lembah kematian ini dapat terjadi baik pada tahap pengembangan teknologi (*Technological Valley of Death*) atau pun pada tahap komersialisasi (*Commercialization Valley of Death*) seperti diuraikan pada Gambar 3.

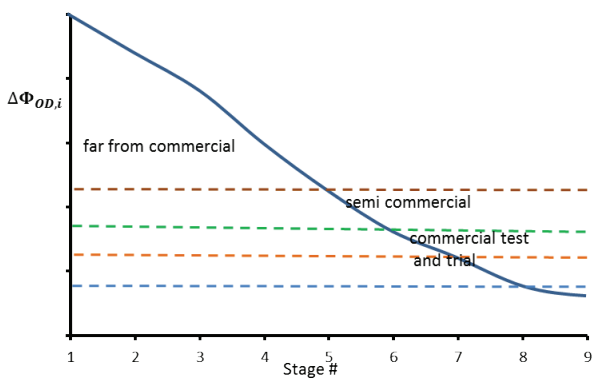
a



b



c



Gambar 4 Trend kebutuhan biaya (a), durasi (b), dan celah kinerja (c) pengembangan teknologi dan produk sesuai dengan peningkatan tahap dalam pengembangan (Bindar, 2016)

Faktor penentu lainnya adalah ketuntasan dalam pengembangan teknologi. Siklus ketuntasan ini bermula dari perancangan. Hasil perancangan ditindaklanjuti dengan pembuatan atau manufaktur alat atau unit proses, pemasangan dan perangkaian, atau integrasi sistem alat atau unit proses. Sistem alat atau unit proses yang terpasang dan terintegrasi sebagai sistem produksi diuji coba dan dijalankan untuk menjalankan produksi. Banyak hal, termasuk permasalahan-permasalahan, yang akan ditemukan pada uji produksi, misalnya ketidaklancaran alat atau unit proses dalam bekerja atau kinerja produksi yang belum sesuai dengan kinerja yang diinginkan pada tahap perancangan. Permasalahan yang muncul pada tahap uji produksi ini dapat diselesaikan dengan berbagai pendekatan. Ada hal-hal yang dapat diselesaikan dengan perbaikan pola operasi, atau pun perubahan alat, unit proses, dan sistem produksinya. Tahap-tahap perubahan atau

modifikasi pasti akan dilalui. Perubahan atau modifikasi rancangan akan diikuti oleh tindakan manufaktur berikutnya. Siklus ketuntasan ini digambarkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Siklus ketuntasan pengembangan teknologi pada masing-masing tahap pengembangan teknologi

Faktor Sumber Daya Manusia dan Kelembagaan

Pengerjaan tuntas tahap-tahap pengembangan untuk menuju tingkat komersial (Gambar 2) merupakan sebuah hasil perencanaan dari lembaga-lembaga yang memiliki tugas dan fungsi dalam hal pengembangan teknologi dan produk industri proses. Lembaga ini dapat berupa lembaga pemerintah dan atau lembaga swasta komersial. Lembaga pemerintah meliputi perguruan tinggi dan lembaga-lembaga penelitian dan pengembangan (Litbang) yang otonom seperti BPPT, LIPI, LAPAN, dan balai, lembaga, dan direktorat di bawah kementerian terkait.

Atmosfer penelitian dan pengembangan teknologi dan produk industri proses untuk mengikuti tahapan-tahapan pada Gambar 2 di lembaga-lembaga pemerintah seharusnya sudah terbentuk. Lembaga menyusun perencanaan litbang secara tuntas. Perencanaan litbang oleh lembaga selalu disusun tiap tahun, tetapi banyak permasalahan yang terjadi sehingga pengembangan teknologi dan produk sering tidak mencapai tingkat komersial (TKT sembilan). TKT yang paling tinggi dicapai mungkin saja baru pada TKT enam. Permasalahan utama yang terkait antara lain adalah kepemimpinan serta sumber daya pengembangan teknologi dan anggaran untuk pembiayaannya.

Metode dan strategi pengembangan teknologi dan produk yang dilakukan oleh lembaga-lembaga litbang atau *Research and Development* (R&D) perusahaan swasta berbeda-beda. R&D perusahaan swasta mungkin saja melakukan pendekatan-pendekatan jangka pendek dalam hal inovasi produk dan teknologi yang dikembangkan. R&D perusahaan swasta yang sudah beraktivitas komersial berbeda pula keadaannya dengan R&D yang dilakukan oleh lembaga yang belum beraktivitas komersial. Perusahaan-perusahaan besar yang mengedepankan inovasi sebagai ketahanan bisnis mereka umumnya menjalankan R&D tahap demi tahap seperti Gambar 2-3.

Faktor sumber daya manusia yang memiliki keahlian dalam pengembangan teknologi proses merupakan faktor penentu utama di samping faktor kelembagaan. Adanya kepemimpinan dari satu atau beberapa orang ahli dalam pengembangan teknologi yang dikuasai dan diyakini untuk dikembangkan menjadi penggerak utama untuk terwujudnya ketuntasan pengembangan teknologi tersebut. Target komersialisasi yang dicanangkan oleh pemimpin teknologi ini merupakan sebuah kekuatan bagi pemimpin ini untuk mencapai tujuan. Pemimpin akan bekerja secara terus-menerus dengan segala kesulitan yang dihadapi. Pemimpin inilah yang menggerakkan lembaga pengembang teknologi, memotivasi, mendidik, melatih, dan menyiapkan tenaga-tenaga ahli untuk ikut bersamanya dalam pengem-bangan suatu teknologi.

Sebagai contoh adalah pengembangan teknologi pesawat terbang komersial di Indonesia. Indonesia berhasil merancang, membuat, menguji, menerbangkan dan mengkomersialkan produk teknologi pesawat terbang oleh PT Dirgantara Indonesia (DI) yang awalnya bernama PT Industri Pesawat Terbang Nusantara dan PT Industri Pesawat Terbang Nurtanio (IPTN). Produk teknologi

pesawat terbang adalah produk teknologi dengan tingkat capaian keamanan teknik (*engineering safety*) tertinggi dari semua produk teknologi. Keberhasilan produk pesawat terbang diterbangkan dengan aman sesuai dengan standar-standar keamanan produk teknologi pesawat terbang merupakan sebuah capaian yang sangat tinggi. Keberhasilan ini tidak terlepas dari kepemimpinan teknologi pesawat terbang dari Prof. B.J. Habibie. Kepemimpinan teknologi pesawat terbang yang sangat kuat dari Habibie mewujudkan semua capaian di atas.

Contoh lain kepemimpinan dalam pengembangan teknologi yang mampu menembus tahap komersial adalah kepemimpinan Prof. Wenten dalam pengembangan teknologi proses membran dengan salah satu produk komersialnya yang bernama GDP Filter. Perjalanan kepemimpinan Prof. Wenten dari riset ke teknologi produk komersial ini teramati oleh penulis dari tahun ke tahun secara dekat. Beberapa komunikasi pribadi kami secara intensif dengan Prof. Wenten menggambarkan kegigihan dan kepeloporannya pada bidang teknologi yang dikuasai oleh yang bersangkutan. Prof. Wenten berhasil mengembangkan produk teknologi membran dari laboratorium ke perusahaan yang didirikannya. Sampai saat ini, yang bersangkutan tetap gigih mengembangkan usahanya pada bidang ini.

Pemimpin-pemimpin pengembangan teknologi di masa depan terlahir dan gigih tanpa mengenal berhenti untuk mengembangkan produk teknologi yang mereka tekuni sampai ke tahap komersial. Kami sebagai penulis pun berusaha mengikuti jalan-jalan pemimpin pengembang teknologi yang sudah berhasil seperti contoh di atas pada bidang yang kami tekuni. Keberadaan pemimpin-pemimpin inilah yang nanti membawa lembaga-lembaga pengembang teknologi untuk dapat berkiprah secara tuntas.

STUDI KASUS: ANALISIS TINGKAT KESIAPAN TEKNOLOGI INDUSTRI FERCAF

Umbi singkong, merupakan salah satu sumber karbohidrat yang potensial. Singkong banyak dikonsumsi di Afrika, Amerika Selatan, dan Asia Tenggara. Di Indonesia, singkong merupakan bahan makanan pokok ketiga terbesar setelah beras dan jagung. Kandungan karbohidrat umbi singkong dapat mencapai sekitar 80% basis kering, sedangkan sisanya meliputi serat, protein, dan lemak, serta mineral fosfor dan kalium (Tonukari, 2004).

Singkong juga merupakan tanaman dengan produktivitas yang tinggi. Data BPS menunjukkan dalam 5 tahun terakhir, rata-rata produktivitas tanaman singkong di Indonesia telah mencapai lebih dari 20 ton/hektar dan di daerah budidaya singkong intensif bisa mencapai 50 sampai dengan 80 ton/hektar. Sebagai perbandingan produktivitas tanaman padi dan gandum yang merupakan sumber karbohidrat lainnya adalah berturut-turut 4,9 ton gabah/hektar dan 2-5 ton gandum/hektar. Pada tahun 2015 lahan perkebunan singkong nasional tercatat seluas 950 ribu hektar, yang terkonsentrasi di provinsi Lampung, Jawa Tengah, Jawa Timur, dan Jawa Barat (sekitar 70%). Total produksi singkong nasional selama 5 tahun terakhir relatif konstan, berkisar antara 21 – 24 juta ton/tahun. Namun demikian, harga pasaran singkong berfluktuasi, mulai sekitar 300 - 5000 rupiah/kg, bergantung pada masa panen dan tingkat serapan pasar saat itu.

Meninjau kandungan karbohidrat dan produktivitas singkong, singkong sebenarnya merupakan bahan pangan yang potensial untuk menjaga ketahanan pangan nasional di masa depan. Namun demikian, saat ini pemanfaatan singkong, khususnya sebagai bahan pangan, cukup terbatas. Singkong umumnya dimanfaatkan langsung: direbus, digoreng, dibuat kripik singkong, atau dijadikan aneka panganan olahan tradisional. Hal ini umumnya terkait dengan masa simpan umbi singkong yang singkat, hanya sekitar 2 - 3 hari, dan kandungan senyawa glukosida sianogenik yang mengakibatkan rasa pahit dan bersifat toksik (Blagbrough dkk, 2010). Untuk memperpanjang masa pakai, menghilangkan toksisitas, meningkatkan nilai tambah, atau pun memfasilitasi penggunaan lanjutnya, umbi singkong perlu diolah lanjut, misalnya dengan penepungan.

Pemrosesan *chips* singkong dengan fermentasi sebelum pengeringan dan penepungan dilaporkan dapat menurunkan kandungan senyawa glukosida sianogenik, menetralkan aroma, serta menghilangkan warna kekuningan pada tepung yang dihasilkan (Brauman dkk, 1996). Di Indonesia metode pengolahan ini diperkenalkan oleh Achmad Subagjo dari Universitas Jember (Subagio, 2008) dan produk yang dihasilkan dikenal di pasaran dengan nama tepung mocaf.

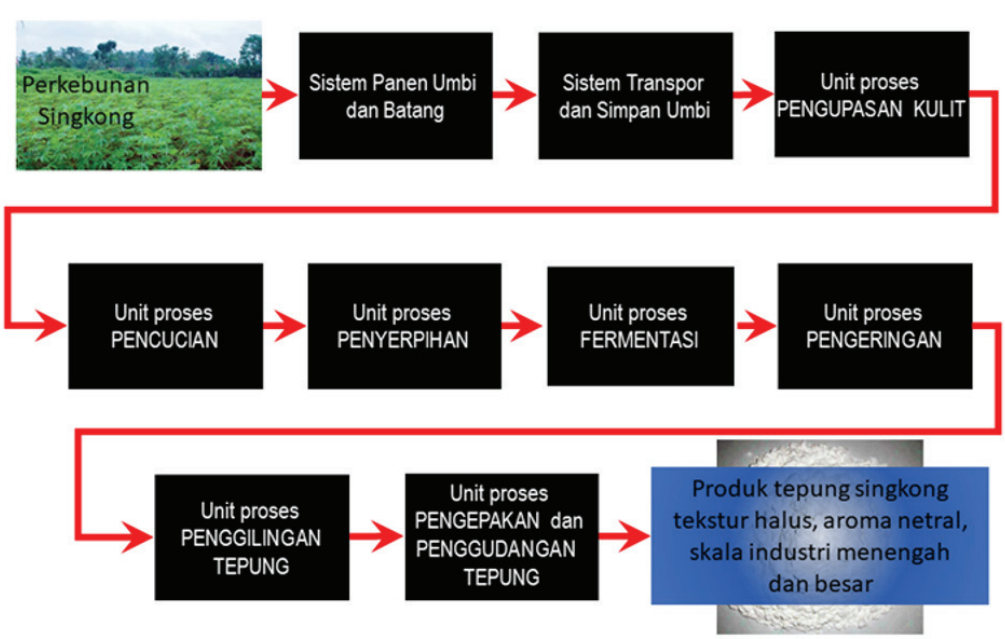
Selama satu dekade terakhir kelompok riset penulis juga secara intens mengembangkan proses dan produk tepung singkong terfermentasi dengan dukungan pendanaan antara lain dari riset MP3EI DIKTI, riset PPTI Ristek DIKTI, riset P3MI ITB, serta kerja sama dengan industri PT Swasembada Pangan Lokal dan PT Cassava Industry Estate 79. Sebagian hasil yang diperoleh telah dipublikasikan (Handojo dkk, 2016; Kresnowati dkk, 2014; 2016, 2018, 2019; Lestari dkk, 2015, 2019; Meitha dkk, 2016). Produk yang dihasilkan dinamai Fercaf (*fermented cassava flour*), yang merupakan tepung singkong terfermentasi generasi kedua dengan penekanan mutu baik dan standar, tekstur halus, aroma netral, dan kadar sianida rendah yang diproduksi secara standar dan higienis.

Diagram alir proses produksi tepung fercaf ditampilkan pada Gambar 6. Pengembangan proses produksi fercaf dilakukan terutama terhadap proses fermentasi dan pengeringan. Proses-proses lainnya seperti pengupasan kulit, pencucian, penyerpihan, penggilingan, dan pengemasan dianggap sudah mapan, karena dapat mencontoh pemrosesan pada industri tepung turunan singkong lainnya seperti tapioka.

Pelaksanaan penelitian dan pengembangan teknologi dan produk fercaf ini tentunya bukan tanpa kendala yang berarti. Namun demikian, saat ini pengembangan teknologi produksi fercaf telah mencapai TKT 9 dan siap untuk dikomersialisasi. Analisis tingkat kesiapan teknologi produksi fercaf diuraikan sebagai berikut dan dirangkum dalam Tabel II.

Tahap penelitian produksi fercaf

Tahap penelitian dasar produksi fercaf (TKT 1 – 5) dilakukan di Lab. Teknologi Pangan dan Lab. Mikrobiologi dan Teknologi Bioproses, Teknik Kimia, ITB. Proses produksi dilakukan di lab, pada skala produksi per *batch* sampai dengan 5 kg bahan baku dan menghasilkan sekitar 1,5 kg fercaf. Secara umum pada tahap ini diperoleh konsep dan metode produksi fercaf yang bermutu baik, beraroma netral, dan kadar sianida rendah.



Gambar 6 Diagram alir proses produksi fercaf

TABEL II ANALISIS TKT INDUSTRI FERCAF

TKT	Uraian tahapan pengembangan teknologi	Pengembangan teknologi produksi fercaf
1	Perumusan ide produk atau teknologi	Ide produksi tepung singkong dengan mutu baik melalui proses fermentasi
2	Riset dasar tentang ide yang sudah dirumuskan di skala laboratorium	Percobaan awal produksi tepung singkong terfermentasi di skala lab, karakterisasi produk
3	Riset awal aplikasi dari riset dasar skala bangku	Optimasi berbagai parameter operasi produksi fercaf, pada skala lab (sampai dengan 5 kg/*batch*)
4	Riset produksi skala pilot	Desain dan pembuatan reaktor fermentasi singkong skala semipilot (72 kg/hari)
5	Riset sistem teknologi produksi skala persiapan semikomersial	Desain dan pengujian sistem proses produksi fercaf pada skala semipilot (72 kg/hari)
6	Riset sistem teknologi produksi skala semikomersial	Desain sistem proses produksi fercaf pada skala pilot (sampai dengan 1000 kg/hari)
7	Pengembangan sistem teknologi produksi mendekati kondisi komersial	Pembuatan dan pengujian sistem proses produksi fercaf pada skala pilot (sampai dengan 1000 kg/hari)
8	Pengembangan sistem teknologi produksi untuk uji komersial	Desain, pembuatan, dan pengujian sistem produksi fercaf pada skala komersial di Bangka (kerja sama dengan PT CIE 79)
9	Pengembangan sistem teknologi produksi komersial, pematangan keamanan dan keandalan operasi, pencapaian kapasitas produksi dan peningkatan efisiensi sistem produksi	Pengoperasian sistem produksi fercaf pada skala komersial di Bangka (kerja sama dengan PT CIE 79)

Pada tahap ini telah diujikan berbagai parameter operasi proses fermentasi untuk modifikasi struktur karbohidrat singkong seperti suhu, waktu proses, dan komposisi starter sehingga diperoleh kondisi operasi fermentasi dan komposisi starter yang optimum (Kresnowati dkk, 2014, 2019; Meitha dkk, 2016). Telah diujikan metode modifikasi struktur karbohidrat yang lain, misalnya gelatinisasi parsial, namun hasil yang diperoleh tidak mengakibatkan perbedaan yang signifikan. Dilakukan pengujian ide desain reaktor fermentasi yang efisien ruang dan higienis, evaluasi berbagai konfigurasi proses seperti resirkulasi media fermentasi untuk memfasilitasi pengadukan sehingga diperoleh konfigurasi reaktor yang optimal (Lestari dkk, 2015). Selain itu juga telah ditinjau aspek mode penyiapan starter seperti *backslopping* yang menjadi dasar pengembangan proses ke skala yang lebih besar.

Pada tahap ini juga telah dilakukan evaluasi berbagai sistem pengeringan, kondisi pengeringan, dan desain sistem pengering yang hemat energi. Hasil yang diperoleh di antaranya telah dipublikasikan dalam (Handojo dkk, 2016).

Tahap pengembangan industri fercaf

Setelah memperoleh konsep dan metode produksi fercaf yang teruji pada skala lab, dilakukan peningkatan skala proses agar dapat diterapkan secara ekonomis di industri. Hal ini dilakukan melalui kerja sama di antaranya dengan PT Swasembada Pangan Lokal dan PT Cassava Industry Estate 79.

Pada tahap pengembangan dilakukan riset pengembangan proses produksi melalui desain, manufakturing, dan uji operasi fermentor dengan skala operasi 72 kg bahan baku singkong/ hari. Fermentor ini didesain untuk dapat dioperasikan secara *semicontinual* sehingga dapat dioperasikan di industri. Pengoperasian fermentor ini juga menghasilkan sampel/ prototipe fercaf dalam jumlah yang cukup memadai untuk diujicobakan sebagai bahan baku pembuatan berbagai produk pangan serta dievaluasi umur simpannya (Lestari dkk, 2019). Hal tersebut merupakan dasar yang sangat penting untuk komersialisasi produk fercaf.

Uji coba produksi fercaf pada skala ini menunjukkan adanya potensi produk samping yang dapat dikomersialkan. Selain itu ditemukan bahwa proses pengeringan *chips* singkong terfermentasi berpotensi menjadi faktor kritik dalam penerapan proses pada skala besar. Juga ditemukan berbagai aspek produksi yang penting seperti penggunaan air yang efisien, kebutuhan pengolahan limbah yang dihasilkan, serta gambaran kebutuhan tenaga kerja terutama untuk proses penyiapan bahan baku: pengupasan singkong. Masalah logistik yaitu ketersediaan bahan baku dan umur simpan singkong yang singkat terlihat dengan jelas. Aspek-aspek produksi ini baru tampak dengan jelas ketika proses produksi dilakukan pada skala pilot.

Tahapan pengembangan selanjutnya dilakukan, dengan memperhatikan hal-hal tersebut di atas, ke arah produksi pada skala semikomersial, yang ditentukan pada kapasitas fermentor sebesar 1 ton bahan baku/hari. Fermentor dan sistem produksi ini kemudian dibangun dan ditempatkan di *Food Teaching Factory*, Program Studi Teknik Pangan, Fakultas Teknologi Industri, ITB Kampus Jatinangor (Gambar 7).

Aspek teknis yang mengemuka ketika menjalankan proses produksi skala ini adalah urgensi ketersediaan starter yang berkualitas. Menjawab hal ini berbagai metode penyiapan starter mikroba untuk fermentasi fercaf telah kami evaluasi (Kresnowati dkk, 2018). Namun demikian, hal ini menjadi masih pekerjaan rumah bagi kami saat ini, yaitu pengembangan proses produksi starter untuk dapat menyediakan starter berkualitas baik dan terjangkau.

Secara paralel, juga dibangun proses produksi fercaf secara komersial di Bangka, untuk menguji aspek pasar dari produk yang dikembangkan. Saat ini produk fercaf dapat ditemukan di berbagai *channel* pemasaran.



Gambar 7 *Food Teaching Factory* – pilot plant produksi fercaf di kampus ITB Jatinangor

Titik kritis pengembangan teknologi dan produk fercaf

Uraian singkat di atas memberikan gambaran bahwa pengembangan teknologi produksi fercaf telah dijalankan secara runut dari TKT 1 - 9. Beberapa titik kritis dalam proses pengembangan teknologi ini di antaranya adalah aspek peningkatan skala, pembiayaan, dan komersialisasi.

Aspek peningkatan skala merupakan karakteristik spesifik industri proses yang sangat penting. Berbeda dengan industri manufaktur lainnya, peningkatan skala pada industri proses umumnya berkontribusi sangat besar pada celah kinerja. Peningkatan produksi fercaf dari skala lab ke skala semipilot, skala pilot, dan skala komersial, memberikan gambaran urgensi aspek penggunaan air yang efisien serta pengolahan

limbah. Oleh karena itu, fermentor sirkulasi dikembangkan agar dapat memanfaatkan air proses secara lebih efektif.

Peningkatan skala produksi juga menuntut dana operasional riset yang sangat besar. Sebagai contoh, bahan baku singkong yang diperlukan untuk satu kali percobaan skala lab adalah 5 kg. Adapun bahan baku singkong yang diperlukan untuk satu kali percobaan skala pilot adalah 300 – 1000 kg. Dukungan pendanaan yang kuat diperlukan agar proses pengembangan teknologi ini dapat dilakukan.

Setelah siap, teknologi ini dapat dikomersialkan. Akan tetapi untuk produk baru seperti fercaf, komersialisasi produk juga memerlukan perhatian khusus. Proses komersialisasi produk sudah dapat dimulai ketika penelitian dilakukan pada skala semipilot, 72 kg/*batch*, yang telah dihasilkan produk fercaf dalam jumlah yang cukup memadai. Produk yang diperoleh dibagikan sebagai sampel untuk diuji. Keberhasilan teknologi ini di pasaran, tentu saja sangat ditentukan oleh keberhasilan komersialisasi produk fercaf yang dihasilkan. Dalam hal ini, riset pasar secara mendalam perlu dilakukan walaupun akan menjadi beban yang sangat berat bagi pengembang teknologi.

SIMPULAN

Pengembangan teknologi dan produk perlu dilakukan secara bertahap untuk menuju komersial. Disepakati terdapat sembilan tahap pengembangan teknologi dan produk, bermula dari kelompok tahapan riset: mulai dari perumusan ide riset (Tahap 1) sampai ke riset produksi secara semi-komersial (Tahap 6), dilanjutkan dengan kelompok tahapan pengembangan: sistem teknologi produksi mendekati kondisi komersial (Tahap 7) sampai ke sistem produksi komersial (Tahap 9). Capaian setiap tahap dinyatakan dengan indikator Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT), yang hanya bisa diperoleh bila setiap tahap dilalui. Loncat tahap dapat berkonsekuensi kepada kondisi jatuh ke Lembah Kematian Teknologi (*technological valley of death*). Karakteristik celah kinerja, waktu dan biaya merupakan hal-hal yang menentukan ketercapaian pengembangan teknologi. Faktor sumber daya manusia dan lembaga berperanan penting dalam pengembangan teknologi ke tahap komersial. Faktor kepemimpinan sumber daya manusia pada teknologi yang ditekuninya menjadi penggerak utama dalam pengembangan teknologi komersial.

DAFTAR PUSTAKA

Arwanto. Prayitno, K.B. dan Suhendri, D. (2011). Tekno-Meter: Panduan Pengukuran Tingkat Kesiapan Teknologi. BPPT, Pusat Pengkajian Kebijakan Difusi Teknologi – BPPT

Arwanto dan Prayitno, K.B. (2013). Tekno-Meter Pengukuran Tingkat Kesiapan Teknologi: Suatu Upaya Mengurai Stagnasi Inovasi di Lembaga Litbang dan Perkuatan Hubungan Pemasok-Pengguna. http://lib.ui.ac.id/file?file=digital/2017-4/20448843-Tekno.pdf

Bindar, Y. (2016). Pengembangan Produk atau Teknologi Berproses, Bertahap dan Peningkatan Berkelanjutan. http://yazid-bindar.blogspot.co.id

Bindar, Y. (2016). *Closing the Gaps Between Designed and Operational Unit Process Performances Using CFD Technique*. Prosiding The Engineering Science and Technology International Conference, Bung Hatta University,Padang, August 30-31, 2016

Blagbrough, I.S., Bayoumi, S.A.L., Rowan, M.G., Beeching, J.R. (2010) *Cassava: An Appraisal of Its Phytochemistry and Its Biotechnological Prospects*. Journal of Phytochemistry, 71, 1940–1951.

Brauman, A., Kéléké, S., Malonga, M., Miambi, E., Ampe, F. (1996). *Microbiological and biochemical characterization of cassava retting, a traditional lactic acid fermentation for foo-foo (cassava flour) production*. Applied Environmental Microbiology, 62, 2854.

Dhewanto, W., Mulyaningsih, D.H., Permatasari, A., Anggadwita, G., Ameka, I. (2014). Manajemen Inovasi: Peluang Sukses

Menghadapi Perubahan. Penerbit Andi, Yogyakarta.

Handojo, L.A., Zefaya, S., Christanto, Y. (2016). *Use of Convective Multiple Flash Drying to Dry Fermented Cassava: Comparison of Drying Methods and Whiteness Degree Analysis*. Prosiding International Seminar on Chemical Engineering in conjunction with Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardjojo (STKSR) 2016.

Jenkins, J. dan Mansur, S. (2011, Nov 16). *Bridging the Clean Energy Valleys of Death: Helping American Entrepreneurs Meet the Nation's Energy Innovation Imperative.* The Breakthrough Institute. http://thebreakthrough.org/archive/bridging_the_clean_energy_vall

Kresnowati, M.T.A.P., Bindar, Y., Aliwarga, L., Lestari, D., Prasetya, N., Tanujaya, A.R. (2014) *Effects of Retting Media Circulation and Temperature on the Fermentation Process in Soft-Texture and Low Cyanogenic Content Cassava Flour Production*. ASEAN Journal of Chemical Engineering, 14(2), 67-75.

Kresnowati, M.T.A.P., Bindar, Y., Rahmina, F. (2018). *Development of Instant Microbial Starter for Production of Fermented Cassava Flour: Effect of Vacuum Drying Temperature, Carrier Media, and Storage Temperature.* Journal of Engineering and Technological Sciences, 50(6), 832 – 840.

Kresnowati, M.T.A.P., Turyanto, L., Zaenuddin, A., Trihatmoko, K. (2019). *Effects of Microbial Starter Composition on Nutritional Contents and Pasting Properties of Fermented Cassava Flour*. ASEAN Journal of Chemical Engineering, 19(1), 12-24.

Lestari, D., Bindar, Y., Kresnowati, M.T.A.P., Aliwarga, L., Destri, A., Gunawan, E. (2015). *Effect of Hydrodynamic Flow Modes in Cassava Chips Retting Fermentor for Production of Fermented Cassava Flour*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia (SNTKI 2015), Yogyakarta, 12-13 Oktober 2015.

Lestari, D., Yessica, Elvina, Kresnowati, M.T.A.P., (2019). *Shelf-life Evaluation of Packaged Fermented Cassava Flour*. Journal of Engineering and Technological Sciences, 51(1), 64 – 82.

Meitha, A., Bindar, Y., Kresnowati, M.T.A.P. (2016). *Effects of Cassava Chips Fermentation Conditions on The Produced Flour Properties*. ASEAN Journal of Chemical Engineering. 16(1), 50 – 58.

Prayitno, K.B. (2012). Sosialisasi TRL (Technology Readiness Level) Hasil Riset untuk Mendukung Kemampuan Inovatif Lembaga Litbang Daerah Dalam Penguatan Sistem Inovasi Daerah, Pusat Pengkajian Kebijakan Difusi Teknologi – BPPT

Subagio, A. (2018). *Modified Cassava Flour (MOCAL): The future of food security based on local potential*, Majalah Pangan, 50, 92

Tonukari, N.J. (2004). *Cassava and the future of starch*. Electronic Journal of Biotechnology, 7(1)