

Tekno-Meter Pengukuran Tingkat Kesiapan Teknologi

TEKNO-METER PENGUKURAN TINGKAT KESIAPAN TEKNOLOGI:¹

Suatu Upaya Mengurai Stagnasi Inovasi di Lembaga Litbang dan
Perkuatan Hubungan Pemasok-Pengguna

Dr. Ir. Arwanto, MSi

Drs. Kuncoro Budy Prayitno, MSc

Pusat Pengkajian Kebijakan Difusi Teknologi

Deputi Bidang Pengkajian Kebijakan Teknologi

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

Telp./ Fax 021 75791352

E-mail: arwanto67@yahoo.com E-mail: kuncoro2009@gmail.com

ABSTRAK

Tekno-Meter merupakan panduan umum yang memberikan gambaran tingkat kematangan sebuah teknologi secara universal, Tekno-Meter juga dapat diterapkan guna mengukur Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT) dari satu jenis teknologi tertentu. Pengukuran TKT dapat disesuaikan untuk diterapkan baik secara spesifik atau generik, dengan memodifikasi perangkat kuesioner pengukuran karena setiap bidang teknologi tertentu mempunyai karakter yang berbeda antara satu teknologi dengan teknologi yang lain.

Hasil penelitian, pengembangan dan rekayasa (litbangyasa) dari Lembaga Penelitian, Pengembangan dan Kerekayasaan (Lemlitbangyasa) belum banyak dimanfaatkan secara optimal oleh pihak pengguna. Permasalahan yang dihadapi lembaga Litbangyasa dalam kaitan pengembangan Inovasi dan Teknologi adalah: Tidak adanya ukuran kuantitatif terkait dengan kesiapan teknologi hasil riset, sehingga dokumentasi terukur mengenai hasil riset belum dilakukan, sementara Informasi mengenai track record pengembangan suatu teknologi sangat penting bagi perencanaan pengembangan riset lanjutan; Belum ada bahasa komunikasi yang sama antara lembaga Litbang dan Industri mengenai tingkat kesiapan suatu

hasil riset, sehingga menjadi penghambat dalam interaksi difusi teknologi; Lemahnya hubungan antara lembaga Litbang dengan Industri dapat mengakibatkan terjadi “kelesuan” dalam berinovasi.

Teknometer dapat mengatasi permasalahan di atas karena: Perkembangan suatu riset dapat terukur secara kuantitatif; Tersedia satu bahasa komunikasi yang terukur mengenai tingkat kesiapan teknologi, sehingga industri dapat menghitung resiko investasi terhadap adopsi teknologi. Sehingga terjadi akselerasi adopsi hasil riset lembaga litbang oleh Industri; Akselerasi adopsi teknologi atau hasil riset lembaga litbang oleh Industri akan mengakselerasi kegiatan litbang yang berorientasi inovasi. Diharapkan dengan pemanfaatan Tekno-Meter dapat mengurai stagnasi inovasi teknologi di Lembaga litbangyasa dan juga dapat memperkuat hubungan Pemasok-Pengguna (supply-demand).

Kata kunci:

Tekno-Meter, Tingkat Kesiapan Teknologi, Lemlitbangyasa, stagnasi inovasi, Pemasok, Pengguna.

1. PENDAHULUAN

Teknologi merupakan salah satu faktor utama untuk kemajuan ekonomi dan inovasi merupakan kata kunci yang sangat penting dalam proses pembangunan ekonomi berbasis teknologi. Namun manfaat dari inovasi tidak akan pernah dapat dinikmati masyarakat apabila tanpa melalui suatu proses, yakni proses difusi teknologi yang merupakan proses dari penyebaran teknologi kepada suatu sistem sosial

Perkembangan inovasi, difusi dan proses pembelajaran diyakini semakin menentukan produktivitas atau daya saing. Karena itu, penguatan sistem inovasi menjadi agenda yang sangat penting di banyak negara, termasuk Indonesia. Pada era globalisasi, dimana perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi begitu dinamis, pembangunan sistem inovasi di suatu negara tidak mungkin lagi dilaksanakan secara terisolasi dan para pelakunya bekerja sendiri. Agar berhasil dalam pembangunan sistem inovasi, para pemangku kepentingan pembangunan sistem ini harus memegang dan mendorong perbaikan lima faktor yaitu keterkaitan (*linkages*), kemitraan (*partnership*), jaringan (*networking*) dan interaksi serta sinergi positif sebagai faktor kunci keberhasilan. Lima faktor ini menunjukkan bahwa keberhasilan inovasi sangat tergantung pada adanya interaksi yang efektif.

Peran Lembaga Litbangyasa baik di Perguruan Tinggi ataupun Industri dalam pelaksanaan berbagai kegiatan bertujuan untuk meningkatkan kemampuan penguasaan dan pemanfaatan iptek guna mendukung pembangunan nasional, yang diharapkan akan memberikan dampak dalam peningkatan kemandirian, daya saing dan kualitas kehidupan bangsa Indonesia.

Permasalahan dalam program pengembangan litbangyasa dan pemanfaatan hasil riset dari sejumlah program dan kegiatan kerekayasaan yang dikembangkan oleh Lembaga Litbangyasa adalah :

- Seringkali tidak diketahui informasi secara terukur (kuantitatif) tentang kesiapan teknologi hasil litbangyasa yang dihasilkan Lemlitbang untuk diterapkan. Ini tentu saja membuat pihak lain yang ingin memanfaatkan hasil litbangyasa mengalami kesulitan untuk mengetahui potensi apa yang dimiliki lembaga litbang tersebut dan menghitung investasi yang diperlukan untuk penerapannya.
- Belum ada bahasa komunikasi yang sama antara lembaga Litbang dan Industri mengenai tingkat kesiapan suatu hasil riset, sehingga menjadi penghambat dalam interaksi difusi teknologi.
- Rendahnya interaksi di antara keduanya dan belum berkembangnya hubungan keterkaitan dan peran Lembaga Intermediasi yang terbatas.

Hambatan pemanfaatan hasil riset dapat mengakibatkan terjadinya kelesuan dari lembaga litbang dalam melakukan penelitian dan inovasi. Oleh karena itu peningkatan pemanfaatan hasil riset diharapkan dapat memacu minat riset. Salah satu upaya yang dapat meningkatkan pemanfaatan hasil litbangyasa teknologi adalah memunculkan dan mendokumentasikan Tingkat Kematangan Teknologi atau Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT) yang dihasilkan oleh Lemlitbangyasa secara terukur (kuantitatif). Hal tersebut dapat dilakukan dengan melakukan pengukuran TRL terhadap hasil rekayasa / riset lemilitbangyasa. Informasi TRL Hasil Riset lembaga litbangyasa dapat dikembangkan menjadi sebuah indikator penguasaan dan kemampuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang sekaligus dapat menjadi informasi yang bermanfaat untuk memperkuat hubungan keterkaitan *supply-demand* teknologi.

Dalam rangka mendukung upaya mengurai stagnasi inovasi di Lembaga Litbang dan perkuatan hubungan Pemasok-Pengguna diperlukan penguasaan informasi TKT oleh kedua belah pihak, penumbuhkembangan kolaborasi bagi inovasi, meningkatkan difusi inovasi hasil litbangyasa. Untuk itu perlu dilakukan upaya pemahaman mengenai Tekno-Meter dan penggunaan kepada Perguruan Tinggi, Lembaga Litbangyasa, Lembaga Intermediasi dan kalangan Industri.

2. RUANG LINGKUP DAN METODE

Pengenalan dan pemahaman Tekno-Meter sebagai Panduan Pengukuran Tingkat Kesiapan Teknologi dan Cara Penggunaan Tekno-Meter dilakukan melalui Sosialisasi dan Pelatihan (*workshop*) kepada Lembaga Litbangyasa baik di Perguruan Tinggi ataupun Lembaga Litbangyasa.

2.1 Tingkat Kesiapan Teknologi

Tingkat Kesiapan Teknologi adalah suatu sistem pengukuran sistematis yang mendukung penilaian kematangan atau kesiapan dari suatu teknologi tertentu dan perbandingan kematangan atau kesiapan antara jenis teknologi yang berbeda. Kesiapan teknologi (*technology readiness*) dapat diartikan sebagai **indikator** yang menunjukkan seberapa siap/matang suatu teknologi untuk bisa diterapkan dan diadopsi oleh pengguna/calon pengguna. Pengertian "kesiapan" menunjukkan adanya kemungkinan perbedaan antara "siap", "tidak siap" dan "belum siap"-nya suatu teknologi" atau perbedaan "tingkatan kesiapan teknologi" untuk dimanfaatkan atau diterapkan sesuai kegunaannya.

TKT merupakan **ukuran** yang menunjukkan tingkat kematangan atau kesiapan teknologi pada **skala 1 – 9**, yang mana antara satu tingkat dengan tingkat yang lain saling terkait dan menjadi landasan bagi tingkatan berikutnya.

Berikut ini adalah peringkat kesiapan teknologi yang ditunjukkan dengan nilai TKT:

| | |
|----------|--|
| 9 | Teknologi benar-benar teruji/terbukti melalui keberhasilan pengapartasian. |
| 8 | Sistem Teknologi telah lengkap dan memenuhi syarat (<i>qualified</i>) melalui pengujian dan demonstrasi dalam lingkungan/aplikasi sebenarnya. |
| 7 | Prototipe telah diuji dalam lingkungan sebenarnya. |
| 6 | Model atau Prototipe telah diuji dalam lingkungan yang relevan. |
| 5 | Komponen teknologi telah divalidasi dalam lingkungan yang relevan. |
| 4 | Komponen teknologi telah divalidasi dalam lingkungan laboratorium. |
| 3 | Konsep dan karakteristik penting dari suatu teknologi telah dibuktikan secara analitis dan eksperimental. |
| 2 | Konsep teknologi dan aplikasinya telah di formulasi. |
| 1 | Prinsip dasar dari suatu teknologi telah diteliti. |

Sumber : Buku Teknometer-Tim TRL BPPT-2011

2.1 Tekno-Meter

Pada dasarnya Tekno-Meter merupakan panduan umum yang memberikan gambaran tingkat kematangan sebuah teknologi secara universal, akan tetapi Tekno-Meter juga dapat diterapkan guna mengukur satu jenis teknologi tertentu. Pengukuran Tingkat Kesiapan Teknologi dapat disesuaikan untuk diterapkan baik secara spesifik atau generik, dengan memodifikasi perangkat kuesioner pengukuran karena setiap bidang teknologi tertentu mempunyai karakter yang berbeda antara satu teknologi dengan teknologi yang lain.

Tekno-Meter dapat memberikan gambaran sesaat (*snap shot*) tentang status kematangan teknologi pada waktu tertentu. Disamping itu juga dapat untuk mengevaluasi proses historis pencapaian kesiapan/kematangan teknologi dari program pengembangan yang dilakukan dalam suatu teknologi.

Konsep kesiapan ini dapat dikembangkan untuk ditafsirkan secara sama oleh pihak yang berkepentingan. Perbedaan penafsiran mungkin saja terjadi antara pihak penyedia teknologi dengan pengguna/calon pengguna teknologi. Penyedia teknologi mungkin mengartikan bahwa hasil litbangnya (proses pembuatan produk atau prototipe teknologi)

sebagai teknologi yang dapat diterapkan. Sementara pihak pengguna/calon pengguna belum menganggapnya sebagai teknologi yang siap untuk diterapkan dan memenuhi kebutuhannya.

Secara umum Tekno-Meter dapat mengukur semua hasil teknologi yang telah dikembangkan. Akan tetapi terhadap hal-hal khusus terkadang Tekno-Meter yang dibuat generik itu tidak dapat menunjukkan hasil pengukuran yang tepat. Hal ini menyangkut pada kompleksitas teknologi yang dikembangkan. Beberapa hal khusus terkadang ada yang tidak dapat terdefinisikan dalam *customization* komponen indikator pada tiap tingkat (*level*) dalam Tekno-Meter, sehingga kesimpulan akhir dari hasil pengukuran secara generik lebih bersifat sebuah pendekatan terhadap kesiapan teknologi tersebut.

Hasil pengukuran TKT terhadap suatu hasil pengembangan teknologi yang menggunakan Tekno-Meter yang dibuat generik kadangkala tidak dapat diterapkan untuk maksud pengukuran terhadap bidang-bidang teknologi yang spesifik karena trayektori pengembangan teknologi yang berbeda-beda. Sebagai contoh adalah pengukuran TKT dalam bidang industri otomotif dengan industri farmasi, meskipun pengukuran TKT dapat dilakukan menggunakan Tekno-Meter yang generik akan tetapi dapat menghasilkan penafsiran yang tidak tepat ketika terdapat hal-hal teknis yang tidak dapat diterjemahkan ke dalam pertanyaan dan atau pernyataan yang sama untuk dua bidang teknologi yang berbeda. Untuk itu disamping dibuat Tekno-Meter generik perlu dibuat juga Tekno-Meter yang spesifik.

Secara umum sebenarnya tidak ada perbedaan prinsip antara hasil ukur yang menggunakan Tekno-Meter yang generik ataupun Tekno-Meter yang spesifik. Perbedaan sebenarnya, adalah pada saat proses pengukuran yang membutuhkan daya analisis dan sintesis pelaku teknologi untuk melakukan interpretasi perangkat ukur yang digunakan guna menentukan pilihan ukuran nilai yang tepat.

Pengukuran secara spesifik membutuhkan pemahaman substansi teknis teknologi terkait, guna menyusun perangkat ukur yang lebih fokus dan kontekstual. Perangkat ukur spesifik mempunyai keuntungan karena mudah difahami oleh responden, pelaku teknologi.

Dalam Tekno-Meter spesifik telah ditetapkan penjelasan dan penentuan komponen indikator TKT untuk bidang teknologi tertentu (berdasarkan hasil konsensus). Mengingat bahwa bidang teknologi yang ada sangat beragam, pembuatan Tekno-Meter yang spesifik mempunyai tingkat kesulitan yang lebih tinggi. Penentuan kriteria unsur dalam proses *customization* TKT pada tiap level Tekno-Meter yang dibuat spesifik bergantung pada kompetensi penyusunnya.

2.2 Pemanfaatan Teknometer

Konsep TKT yang pada awalnya dikembangkan oleh NASA dalam rangka mendukung program pengembangan dan perencanaan teknologi ruang angkasa, sekarang sudah banyak digunakan di berbagai bidang teknologi. Biasanya aplikasi TKT selalu dikaitkan dengan model aplikasi dari program pengembangan teknologi lainnya.

Di antara tujuan pengukuran TKT dengan menggunakan Tekno-Meter adalah :

1. Penentu Kebijakan

Untuk menentukan besarnya upaya (program insentif dan pendanaan) untuk memperkecil kesenjangan dan keterkaitan antara penyedia dan pengguna teknologi. Dapat juga ditujukan untuk monitoring dan evaluasi suatu program pengembangan teknologi bila pengukuran TKT dilakukan secara berulang dengan mengetahui riwayat / *historikal* pencapaian TKTL pada periode waktu tertentu.

2. Penghasil Teknologi

Menyediakan informasi penting tentang status dan pencapaian kematangan (*maturity*) teknologi yg dihasilkan dan memungkinkan peningkatan pemanfaatannya dan untuk fokus pengembangan program dan teknologi dalam peningkatan kapasitas litbang.

3. Pengguna Teknologi

Tersedianya informasi status teknologi yg dapat digunakan untuk keputusan investasi dan pemanfaatan teknologi.

4. Lembaga Intermediasi

Menyediakan informasi kemampuan teknologi, promosi dan peningkatan/ perluasan pemanfaatan teknologi.

Pemanfaatan TKT di Indonesia, khususnya dalam bidang iptek akan sangat membantu dalam rangka persiapan dan pematangan suatu teknologi untuk siap didifusikan atau tidak. Manfaat Pengukuran Tingkat Kesiapan Teknologi adalah untuk :

1. Mendapatkan indikator (antara 1-9) yang menunjukkan tingkat kematangan/ kesiapan teknologi untuk diterapkan, yang dapat menjadi informasi dan pertimbangan dalam pengambilan keputusan berkaitan dengan pemanfaatan dan program pengembangan teknologi.

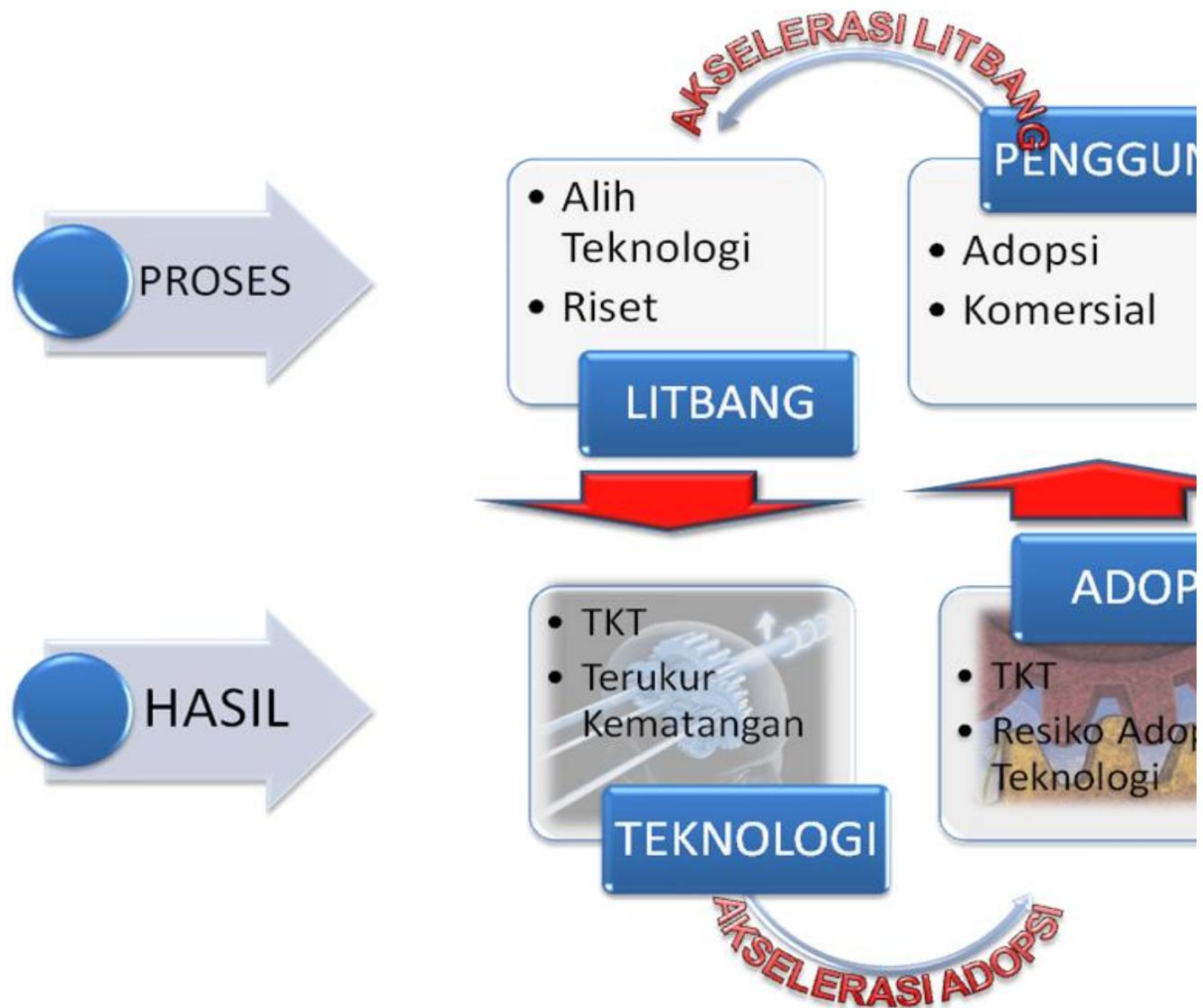
2. Mengetahui riwayat/ historikal pencapaian suatu program pengembangan teknologi, bila pengukuran dilakukan secara berulang pada periode waktu tertentu.
3. Mengembangkan alat (*tool*) untuk mengukur TKT dan membangun kesepakatan persyaratan (negosiasi/konsensus TKT) untuk teknologi tertentu antar pihak yang berkepentingan.

Dengan diterapkannya atau dimanfaatkannya Tekno-Meter sebagai alat Pengukuran Tingkat Kesiapan Teknologi hasil litbangyasa di Lembaga Litbangyasa maka akan diketahui tingkat kesiapan teknologi yang dihasilkan Lembaga Litbangyasa sehingga dapat diantisipasi rencana pengembangan terhadap teknologi hasil litbangyasa yang dibutuhkan oleh pengguna teknologi. Disamping itu pemanfaatan Tekno-Meter juga dapat meningkatkan interaksi yang lebih kuat dan kondusif diantara aktor/pelaku/komponen yang terkait.

3. PEMBAHASAN

3.1. Manfaat Tekno-Meter

Manfaat utama Tekno-Meter adalah sebagai alat atau sarana untuk menggambarkan tingkat kesiapan teknologi secara terukur (kuantitatif). Dengan peran ini dapat dijadikan acuan bersama antara Lembaga Litbangyasa sebagai pemasok teknologi dan Industri sebagai pengguna. Sehingga terdapat bahasa yang sama yang terukur yang dapat dijadikan landasan berpijak bagi keduanya dalam menyatakan tingkat kesiapan suatu teknologi. Kesamaan pandangan terhadap ukuran kesiapan teknologi akan mempermudah dan memperlancar komunikasi dalam rangka proses difusi teknologi. Sehingga aliran teknologi hasil inovasi dari lembaga litbangyasa ke pengguna atau industri akan semakin lancar. Kondisi ini pada akhirnya akan menumbuhkan *driving force* bagi lembaga litbangyasa untuk mamacu melakukan riset. (Gambar 1)



Gambar 1. TKT, Akselerasi Adopsi Mangurai Stagnasi Riset

Aliran teknologi atau inovasi hasil riset lembaga litbangyasa ke industri sangat dimungkinkan tidak hanya pada hasil riset yang berada pada level atau TKT 8 atau TKT 9 saja. Dengan adanya Tekno-Meter, hasil riset yang masih dibawah TKT 5, bila terkomunikasikan dengan baik ke industri, bisa saja akan diadopsi oleh industri. Hal ini karena industri telah paham resiko investasi yang harus ditanggung jika akan mengadopsi suatu hasil riset pada tingkatan TKT tertentu. Jadi kata kuncinya adalah bahasa dan definisi yang sama antara pemasok dan pengguna teknologi terhadap suatu tingkatan TKT mulai TKT 1 sampai dengan TKT 9.

Oleh karena itu manfaat lain dari Tekno-Meter adalah salah satu yang dapat mendukung upaya untuk mengurangi stagnasi inovasi di lembaga litbangyasa. Disamping dengan dengan Tekno-Meter yang merupakan bahasa yang sama bagi lembaga litbangyasa dan industri akan berperan memperkuat hubungan antara pemasok dan pengguna teknologi.

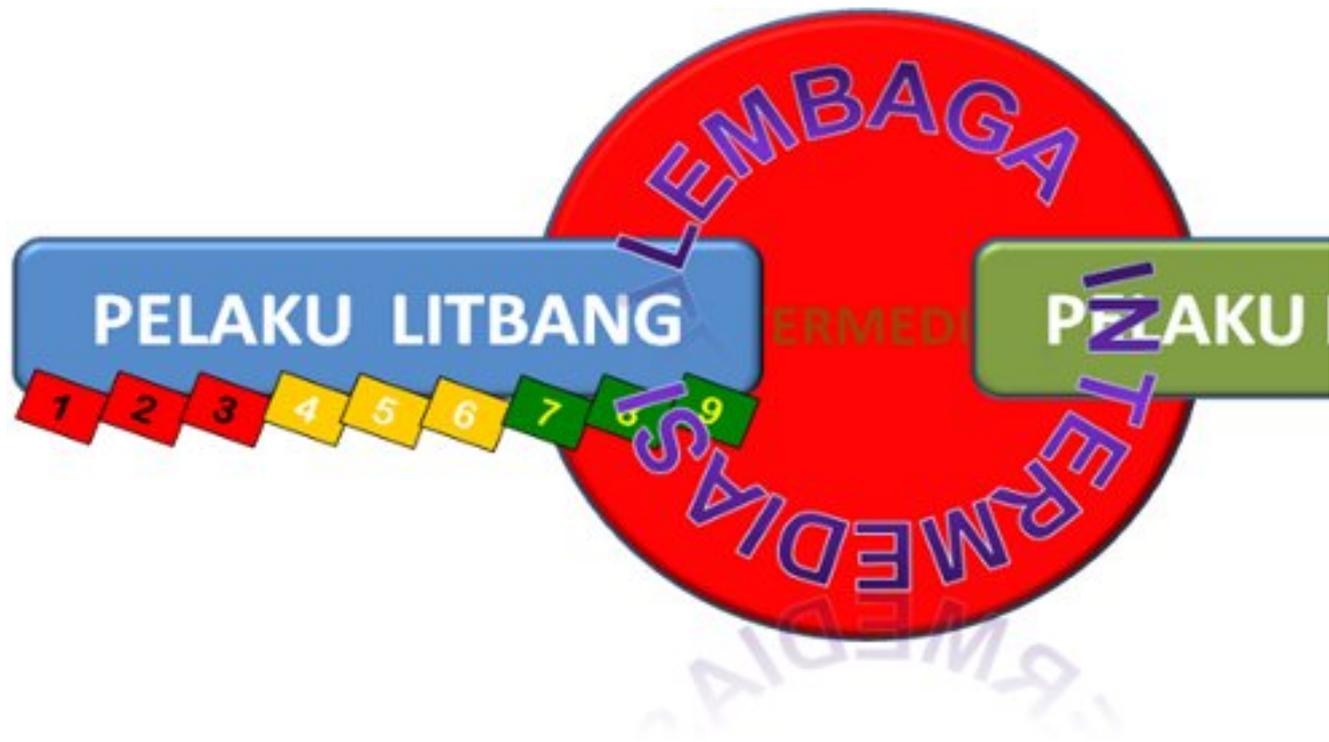
3.2 Peran Lembaga Intermediasi dalam Perkuatan Hubungan Pemasok-Pengguna

Untuk dapat memaksimalkan manfaat dari Tekno-Meter diperlukan optimalisasi peran dari lembaga intermediasi. Lembaga intermediasi yang berperan sebagai penghubung antara lembaga litbang dan industri (pengguna) selama ini lebih banyak meng-intermediasi-kan hasil riset lembaga litbang yang telah memiliki tingkat kesiapan di atas TKT 8 (Gambar 2). Sementara untuk TKT 5 ke bawah sebenarnya bisa jadi memiliki potensi untuk dikembangkan sampai tahapan produksi. Namun karena keterbatasan sumberdaya atau perubahan kebijakan seringkali tidak dilanjutkan tahapan penelitiannya. Hal ini yang dapat menimbulkan adanya “kelesuan” dalam riset dan berinovasi.

Oleh karena itu peran lembaga intermediasi harus dioptimalkan dengan memperhatikan dan mengkoneksikan hasil riset tidak hanya yang TKT tinggi saja tetapi juga untuk TKT rendah (Gambar 3). Karena mungkin saja TKT yang rendah dapat menarik industri untuk mengadopsi, tentunya dengan pemahaman resiko investasi yang telah diperhitungkan, yang mengacu pada ukuran TKT yang telah dicapai.



Gambar 2. Keterbatasan Peran Lembaga Intermediasi



Gambar 3. Optimalisasi Peran Lembaga Intermediasi

4. KESIMPULAN

- **Tekno-Meter** sebagai Panduan Pengukuran Tingkat Kesiapan Teknologi untuk mendukung Penguatan Sistem Inovasi Daerah dapat dimanfaatkan untuk mengukur TKT hasil litbangyasa di Perguruan Tinggi ataupun Lembaga Litbangyasa dan kalangan Industri.
- Dengan mengetahui TKT dari hasil litbang maka akan dapat diketahui proses pengembangan teknologi lebih lanjut guna mencapai pemanfaatan teknologi yang optimum.
- **Lembaga Intermediasi** dibutuhkan untuk menjembatani antara pemasok dan pengguna teknologi, untuk itu penguasaan tentang TKT dan cara pengukurannya dapat bermanfaat dalam penyampaian informasi hasil litbangyasa dan pengembangan teknologi lebih lanjut.
- **Lembaga Intermediasi** juga dibutuhkan bagi Lemlitbangyasa dalam pendampingan dan penyampaian informasi tentang hasil-hasil teknologi tidak hanya di hilir (ketika Hasil penelitian memiliki TKT yang tinggi) tapi juga di hulunya ketika hasil-hasil litbang masih memiliki nilai TKT rendah.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kuncoro Budy Prayitno, dkk, 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.
2. Arwanto., Kuncoro Budy Prayitno., Dedi Suhendri, 2011, Tekno-Meter: Panduan Pengukuran Tingkat Kesiapan Teknologi, BPPT, Pusat Pengkajian Kebijakan Difusi Teknologi – BPPT.
3. Dedi Suhendri, dkk. 2011. Tingkat Kesiapan Teknologi (TRL, *technology readiness level*) Hasil Riset Lembaga Litbang LPNK Ristek, Pusat Pengkajian Kebijakan Difusi Teknologi – BPPT.
4. ----- . 2010. Pengukuran TRL Hasil Riset BPPT, Pusat Pengkajian Kebijakan Difusi Teknologi – BPPT.
5. Kuncoro Budy Prayitno, 2008, Panduan Pengukuran Tingkat Kesiapan Teknologi, Pusat Pengkajian Kebijakan Difusi Teknologi – BPPT.
6. ----- . 2007. Direktori Teknologi, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)
7. ----- . 2006. Buku Model Difusi Hasil RUK, Pusat Pengkajian Kebijakan Difusi Teknologi – BPPT.
8. Nolte, William. 2005. *Technology Readiness Level Calculator*. Presented at Assessing Technology Readiness & Development Seminar. April 28, 2005.
9. Smith, Jim. (2004). *An Alternative to Technology Readiness Levels for Non-Developmental Item (NDI) Software*. Integration of Software-Intensive Systems Initiative. CMU/SEI-2004-TR-013. ESC-TR-2004-013. April 2004.
10. Smith II, James D. (2004). *ImpACT: An Alternative to Technology Readiness Levels for Commercial-Off-The-Shelf (COTS) Software*. Carnegie Mellon Software Engineering Institute.
11. Taufik, Tatang A. 2004. *Penyediaan Teknologi, Komersialisasi Hasil Litbangyasa, dan Aliansi Strategis*. P2KDT – BPPT dan KRT. 2004.
12. Taufik, Tatang A, 2003, *TRL : Konsep dan Isu Kebijakan*, Workshop Pemetarencanaan Teknologi dan Pengukuran Teknologi, P2KT-PUDPKM, PKT-BPPT.
13. NASA. (2001). *NASA Technology Commercialization Process: NASA Procedures and Guidelines*. NPG 7500_1. NASA - Commercial Technology Division. Dari <http://nodis3.gsfc.nasa.gov/library/>
14. Mankins, John C. (1995). *Technology Readiness Levels: A White Paper*. Advanced Concepts Office. Office of Space Access and Technology. NASA. April 6, 1995.