

OPTIMALISASI BIAYA PEMBANGUNAN IRADIATOR GAMMA MERAH PUTIH SEBAGAI PILOT PROJECT KOMERSIAL

Ari Satmoko dan Hyundianto Arif Gunawan
Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir – BATAN
Gedung 71 Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan 15314
satmoko@batan.go.id, yundi@batan.go.id

ABSTRAK

OPTIMALISASI BIAYA PEMBANGUNAN IRADIATOR GAMMA MERAH PUTIH SEBAGAI PILOT PROJECT KOMERSIAL. Meski sebenarnya membutuhkan banyak iradiator gamma, Indonesia baru memiliki satu yang dikelola oleh industri swasta. Pada tahun 2015-2017 BATAN membangun prototip Iradiator Gamma Merah Putih (IGMP) dalam rangka penguasaan teknologi dan sekaligus untuk menunjukkan bahwa iradiator gamma layak komersial. Setelah teknologi dikuasai, maka iradiator gamma berikutnya dapat dibangun dengan biaya lebih efisien. Beberapa komponen biaya IGMP tidak relevan dengan tujuan komersial. Optimalisasi biaya IGMP dilakukan untuk dapat direplikasi sebagai iradiator gamma komersial. Fasilitas IGMP terdiri dari kombinasi berbagai bidang perkerajaan: sipil, mekanik, kelistrikan dan instrumentasi. Di bidang sipil, beberapa komponen pembiayaan tidak relevan dengan tujuan komersial: gedung perkantoran tidak perlu, spesifikasi desain untuk storage area layak dikoreksi, dan spesifikasi arsitektur harus disesuaikan dengan standar pabrik. Di bidang mekanik dan instrumentasi, optimalisasi biaya dapat dilakukan dengan meningkatkan kandungan lokal terkait safety related system. Beberapa kasus over desain dan over price juga dapat dihindari dalam rangka penghematan biaya. Sedangkan untuk kelistrikan, optimalisasi biaya dapat dilakukan dengan mendesain ulang catu daya sesuai dengan hanya kebutuhan iradiator gamma. Dengan berbagai optimalisasi tersebut, biaya pembangunan fasilitas iradiator gamma skala komersial dapat ditekan menjadi sekitar Rp. 49,6M,- atau 62% dari harga IGMP. Bila konsultan, peralatan meubel dan peralatan operasional lainnya juga disiapkan sehingga diperoleh sebuah fasilitas komersial siap operasi, maka dibutuhkan biaya sekitar Rp. 58,3M atau 68% lebih murah dari model IGMP. Perlu dicatat, besaran biaya tersebut merupakan perkiraan yang dilakukan pada akhir 2020.

Kata kunci : optimalisasi, biaya, pembangunan, iradiator gamma, komersial.

ABSTRACT

COST OPTIMIZATION OF CONSTRUCTION OF THE IRADIATOR GAMMA MERAH PUTIH AS COMMERCIAL PILOT PROJECT. Although it actually requires a lot of gamma irradiators, Indonesia has only one which is managed by a private industry. In 2015-2017 BATAN built an Iradiator Gamma Merah Putih (IGMP) prototype in order both to master technology and to demonstrate that gamma irradiators are commercially viable. After mastering the technology, the next gamma irradiator can be built at a lower cost. Some of the cost parts of the IGMP are not relevant to commercial purposes. The optimization of IGMP costs is evaluated in order to be able to be replicated as a commercial gamma irradiator. The IGMP facility is a combination of various engineering fields: civil, mechanical, electrical and instrumentation. In the civil area, some costs are irrelevant to commercial purposes: the office building is unnecessary, design specifications for storage areas are welcome to be reviewed, and architectural specifications must be adjusted to factory standard. In mechanical and instrumentation areas, cost optimization can be done by increasing local content related to safety related systems. Several cases of both over design and over price can also be avoided in order to save costs. In electricity area, cost optimization can be done by redesigning the power supply regarding the only gamma irradiator requirements. With these above optimizations, the cost of building a commercial gamma irradiator facility can be reduced to around Rp. 49.6M or 62% of the IGMP one. If consultants, furniture equipment and other operational equipment are also considered, so that a commercial facility is ready for operation, it cost around Rp. 58.3M or 68% cheaper than the IGMP model. It should be noted that these costs are estimation made at the end of 2020.

Keywords: optimization, cost, construction, gamma irradiator, commercial.

1. PENDAHULUAN

Teknologi iradiasi dengan sinar gamma merupakan teknologi tepat guna. Proses iradiasi dapat dimanfaatkan untuk berbagai tujuan, seperti pengawetan bahan pangan, fitosanitari, sterilisasi alat kesehatan dan peningkatan kualitas bahan seperti polimer ataupun bahan semi-konduktor. Namun meski sudah lama dikenal dan banyak dibutuhkan di Indonesia^[1], baru satu industri swasta yang mengelola instalasi iradiator gamma.

Untuk menarik investor, pada tahun 2015-2017 BATAN membangun prototip Iradiator Gamma Merah Putih (IGMP), sebagai pilot project dengan tujuan untuk menunjukkan bahwa iradiator gamma layak komersial. Namun setelah tiga tahun paska pembangunan IGMP, investor belum tertarik untuk membangun iradiator gamma baru. Salah satu penyebab keengganan swasta membangun iradiator gamma adalah karena biaya pembangunan IGMP dinilai terlalu tinggi.

IGMP dibangun dalam koridor kegiatan penelitian dan pengembangan di mana peningkatan kompetensi sumber daya manusia menjadi fokus tujuan kegiatan dengan sasaran menguasai teknologi iradiator gamma. Kedepannya, Indonesia sudah tidak lagi tergantung kepada pakar luar negeri. Alih teknologi dari vendor luar negeri ke para perekayasa dan peneliti BATAN dilakukan selama proses pembangunan IGMP. Dengan menguasai teknologi tersebut, maka BATAN siap untuk mengembangkan iradiator gamma berikutnya dengan biaya lebih efisien.

Karena ditujukan untuk tujuan komersial, pembangunan iradiator gamma berikutnya diharapkan menjadi lebih ekonomis. Makalah ini membahas optimalisasi biaya pembangunan IGMP untuk direplikasi sebagai iradiator gamma komersial. Pembangunan IGMP meliputi berbagai bidang perekayasaan: sipil, mekanik, kelistrikan dan instrumentasi. Potensi optimalisasi biaya konstruksi untuk masing-masing bidang dilakukan dengan berdasarkan pada dokumen Rencana Anggaran Belanja IGMP.

2. TATA KERJA

Makalah ini merupakan hasil dari kegiatan evaluasi dengan menggunakan pendekatan studi kasus. Topik berkisar pada biaya pembangunan iradiator gamma. Permasalahan difokuskan pada pembiayaan pembangunan IGMP sebagai subyek studi kasus untuk kemudian digeneralisir pada iradiator gamma komersial^[2].

Kegiatan untuk optimalisasi biaya pembangunan iradiator gamma komersial ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Menelaah proyek pembangunan IGMP: mendata komponen yang dibangun dan biaya per komponen/ peralatan. Dokumen yang menjadi rujukan adalah kertas kerja Rencana Anggaran Belanja IGMP^[3].
- Optimalisasi biaya pembangunan IGMP menjadi iradiator gamma komersial dengan berbagai pertimbangan teknis: keterkaitan komponen/peralatan dalam produktivitas proses iradiasi dan kelayakan harga untuk sebuah fasilitas komersial (ekonomis, *over desain* dan *over price*)
- Menyusun laporan hasil evaluasi

Besaran biaya ataupun harga dalam makalah ini merupakan prediksi atau perkiraan yang dilakukan pada akhir 2020. Pandemi Covid19 mungkin saja berakibat pada dampak ekonomi yang berakibat pada perubahan berbagai harga bahan bangunan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan penelitian dan pengembangan memiliki karakteristik yang berbeda jauh dengan kegiatan komersial. IGMP dibangun dalam dualisme koridor: pengembangan teknologi nuklir dan sebagai *pilot project* komersial. Kedua koridor pada hakikatnya

memiliki karakteristik yang berlawanan. Koridor litbang membutuhkan investasi yang cukup tinggi demi mencapai penguasaan teknologi, sementara koridor komersial menitikberatkan pada penghasilan atau pengembalian modal. Setelah mencapai tujuan penguasaan teknologi iradiator gamma, maka kegiatan berikutnya adalah mengadaptasi teknologi iradiator gamma menjadi layak komersial. Dengan menggunakan langkah-langkah yang telah dibahas dalam bab Metode sebelumnya, biaya pembangunan IGMP dioptimalkan sehingga menjadi layak komersial.

Pembiayaan IGMP terdiri dari berbagai komponen. Pengklasifikasian komponen dapat dilakukan dari berbagai sudut pandang seperti berdasarkan bidang perkerjasama, berdasarkan fungsi, berdasarkan kronologis, ataupun berdasarkan sudut pandang lainnya. Dalam evaluasi ini, pembahasan dilakukan berdasarkan bidang keilmuan perkerjasama sebagai berikut:

- Optimalisasi di bagian Sipil
- Optimalisasi di bagian Mekanik
- Optimalisasi di bagian Kelistrikan
- Optimalisasi di bagian Instrumentasi

3.1 Optimalisasi di Bagian Sipil

Fasilitas IGMP terdiri dari gedung iradiator, *storage area*, utilitas, gedung perkantoran dan pos jaga. Masing-masing gedung memiliki fungsi tertentu. Gedung iradiator digunakan sebagai tempat proses iradiasi. *Storage area* digunakan untuk menyimpan produk baik yang akan ataupun yang telah diiradiasi. Gedung Utilitas digunakan sebagai penunjang untuk mensuplai kebutuhan listrik dan air. Gedung perkantoran berfungsi untuk menampung pegawai ataupun peneliti bekerja dengan nyaman. Pos Jaga menyediakan tempat untuk unit pengaman dan juga pengatur lalu lintas masuk-keluar tamu.

Dari sisi fungsi, gedung perkantoran jelas tidak ada kaitannya dengan produktivitas iradiator sebagai pabrik. Dengan demikian gedung berlantai 2 dengan luasan dasar sekitar 200 m² tidak perlu dibangun untuk iradiator gamma komersial. Pos jaga IGMP terdiri dari 2 bangunan: pos pertama ditujukan untuk arus lalu lintas truk kontainer dan pos kedua untuk lalu lintas karyawan dan tamu. Pos Jaga ganda juga merupakan suatu pemborosan.

Kegiatan di Bagian Sipil meliputi Pendahuluan, Struktur, Arsitektur dan Landscape. Pendahuluan meliputi persiapan peralatan dan pematangan lahan. Untuk IGMP komponen terbesar Pendahuluan adalah pematangan lahan karena memang awalnya lokasi berupa hutan dengan kontur bergelombang. Perbedaan level antara titik tertinggi hingga terendah mencapai 6 meter. Karena alasan inilah komponen biaya pendahuluan menjadi tinggi sekitar Rp. 6,21M,- Untuk pembangunan iradiator komersial, komponen biaya pendahuluan ini sangat bervariasi bergantung pada kondisi lahan. Dengan asumsi lahan matang dan siap pakai, maka terdapat potensi penekanan biaya pendahuluan.

Konstruksi Struktur didominasi oleh fondasi, *raft plate* dan *shielding*. Fondasi IGMP menggunakan teknik *bore pile*. Alasan penggunaan model ini adalah untuk menghindari getaran yang mungkin timbul selama konstruksi fondasi. Perlu diketahui di sekitar lokasi IGMP, terdapat gedung dengan peralatan instrumentasi yang sangat sensitif terhadap getaran. Sehingga penggunaan *bore pile* tidak bisa dihindari. Dalam pembangunan iradiator komersial, fondasi dapat menggunakan berbagai model seperti tiang pancang ataupun model *hijack*. Pilihan fondasi sangat bergantung pada area lokasi calon tapak. Teknik *hijack* dilaporkan dapat mengganti Teknik *bore pile*^[4, 5]. Diameter *borepile* IGMP adalah 80 cm yang merujuk pada acuan *reference plant* dari Hungaria. Konsultan Perencana maupun Manajemen Konstruksi memberikan indikasi potensi penghematan dengan menggunakan bore pile berdimensi lebih kecil yakni diameter 60 cm tanpa mengurangi aspek keselamatan. Namun perihal ini harus dianalisis lebih detail.

Bore pile digunakan sebagai fondasi untuk gedung iradiator dan *storage area*. Gedung iradiator memang berisi bunker dengan ketebalan beton hingga 2 meter. Desain seperti ini menjadikan beban statik yang lumayan berat. Penggunaan fondasi *bore pile* tidak bisa dihindari. Namun *storage area* yang hanya berfungsi sebagai sarana menyimpan barang/produk yang diiradiasi baik pra maupun paska sebenarnya hanya cukup menggunakan pondasi *strauspile* atau semacamnya. Memang ada pertimbangan bahwa gedung iradiator dan *storage area* saling berdekatan bahkan saling menempel, sehingga ada kekhawatiran kedua gedung saling berinteraksi di kemudian hari. Namun permasalahan ini dapat dipecahkan dengan modifikasi desain baik fondasi maupun gedungnya. Dengan kata lain fondasi *bore pile* untuk *storage area* dapat diganti dengan fondasi lain yang lebih murah. Beton pada lantai *storage area* juga didesain untuk bisa menopang truk kontainer. Dalam iradiator komersial, persyaratan ini tidak terlalu diharuskan. Dengan demikian ketebalan lapisan beton dapat dikurangi tanpa mengurangi aspek keselamatan.

Di bagian arsitektur, IGMP cenderung dibangun dengan nuansa mewah bila dibandingkan untuk ukuran pabrik komersial. Penggunaan ACP sebagai contoh dapat diganti dengan bahan-bahan lain yang lebih ekonomis. ACP (Aluminium composite panel) merupakan material yang terbuat dari polyethylene (PE) dan di kedua sisinya dilapisi dengan aluminium. Material ini banyak digunakan sebagai pelapis dinding eksterior untuk menonjolkan kesan artistik dan megah^[6]. Dibanding dengan dinding konvensional, lapisan ACP membutuhkan anggaran yang lebih tinggi, meskipun dari sisi pekerjaan, waktu yang dibutuhkan menjadi lebih singkat^[7]. Begitu pula dengan ornamen gedung lainnya seperti tangga *stainless steel*. Di sekitar bunker juga terdapat beberapa ruangan yang praktis tidak efisien digunakan.

Landscape mencakup taman dan parkir yang lagi-lagi tergolong mewah. Dalam desain IGMP, manuver dan jumlah truk kontainer menjadi persyaratan. Akibatnya membutuhkan area parkir dengan luasan lebih dari 2500 m². Dengan persyaratan yang lebih sederhana, luas parkir jauh bisa diperkecil. Begitu pula untuk taman yang mensyaratkan spesifikasi sebagai lembaga penelitian dan pengembangan, area dengan luas lebih 6500 m² memang menyediakan tempat yang nyaman. Namun untuk ukuran iradiator komersial, biaya taman dapat dihemat tanpa mengurangi produktivitas. Spesifikasi jumlah dan jenis pohon dapat dikoreksi demi tujuan komersial.

3.2 Optimalisasi di Bagian Mekanik

Bagian mekanik meliputi mekanik iradiator dan mekanik pendukung. Mekanik iradiator berkaitan langsung dengan proses iradiasi, yang meliputi kompresor, sistem transportasi produk, sistem pengangkat sumber radioaktif, sistem pneumatik, pintu keselamatan, *crane*, dan sebagainya. Sementara mekanik pendukung merupakan perlengkapan penunjang sebagaimana dipersyaratkan dalam berbagai standar seperti sistem *fire hydrant*, *air conditioner*, sistem suplai air dan sebagainya.

Dari aspek keberadaan dan fungsinya, bagian-bagian mekanik memang harus disediakan secara lengkap. Evaluasi lebih dalam menunjukkan beberapa bagian mekanik masuk kategori *over desain* atau bahkan *over price*. Contoh *over desain* ditunjukkan dalam desain bagian penyangga *embedded pipe*. Terbukti dalam tahap konstruksi, bagian penyangga ini praktis tidak efisien. Contoh *over price* terjadi pada sistem pneumatik. Meskipun sulit untuk dihitung secara detil, namun beberapa perbandingan penawaran vendor untuk beberapa komponen pneumatik menunjukkan perbedaan harga. Namun, masing-masing vendor juga menawarkan pelayanan yang berbeda sehingga analisis harga harus dilakukan secara detil.

Beberapa komponen mekanik juga merupakan bagian dari sistem *safety related* yang mana dipasok dari luar negeri. Keterlibatan pakar luar negeri dan impor dalam bentuk modul jadi sudah tentu membuat harga menjadi mahal. Berkat program alih teknologi, pakar dan praktisi dari Indonesia sekarang sudah mampu untuk memproduksi bagian *safety related* yang berujung pada penghematan biaya.

3.3 Optimalisasi di Bagian Kelistrikan

Di lokasi Kawasan Nuklir Serpong 2, BATAN berencana membangun fasilitas IGMP dan Akselerator Elektron Energi Tinggi secara berdampingan. Untuk mengakomodir kedua fasilitas tersebut maka sistem kelistrikan IGMP didesain untuk mensuplai listrik sebesar 450 kVA. Bagian kelistrikan ini meliputi *power house*, *medium voltage*, penyambungan listrik ke PLN, distribusi jaringan kabel, *grounding system*, penangkal petir, dan sebagainya.

Untuk kebutuhan IGMP sendiri, daya listrik yang dibutuhkan hanya berkisar antara 150 – 200 kVA. Dengan demikian penurunan daya dipastikan menekan biaya pembangunan. Optimalisasi luasan taman dan parkir juga akan mempengaruhi biaya jaringan dan penerangan listrik.

3.4 Optimalisasi di Bagian Instrumentasi

Instrumentasi mencakup dua bagian: instrumentasi iradiator dan instrumentasi pendukung. Instrumentasi iradiator terkait erat dengan pengoperasian proses iradiasi. Bagian ini meliputi pusat sistem kontrol, sistem *interlock*, pengukuran radiasi, dan sebagainya. Sebagai bagian dari *safety related system*, baik *hardware* maupun *software* komponen ini dipasok dari Hungaria. Mengingat alih teknologi telah dilakukan, sumber daya manusia Indonesia bisa mengambil alih sebagian atau seluruhnya komponen *safety related*. Langkah ini akan meningkatkan kandungan lokal, setidaknya untuk sumber daya manusia di bidang perakitan dan pemrograman. Untuk *hardware* sendiri, komponen ini masih sulit disubstitusi dengan komponen produksi dalam negeri.

Instrumentasi pendukung meliputi sistem alarm kebakaran, CCTV, *sound system*, dan sebagainya. Karena komponen ini sudah dipasok dari suplier dalam negeri, penghematan tidak terlalu besar dapat dilakukan. Beberapa sistem, seperti misalnya *sound system*, dapat dihilangkan demi penghematan pabrik komersial. Spesifikasi teknis baik kualitas dan kuantitas dapat dioptimalkan dalam rangka menekan harga tanpa mengurangi fungsi dan kriteria minimum.

3.5 Resume Optimalisasi

Optimalisasi biaya pembangunan di atas merupakan perkiraan dengan menggunakan berbagai justifikasi teknis. Tentu saja optimalisasi secara detil sulit dilakukan secara tepat karena harus dibarengi dengan analisis kebutuhan biaya lebih mendalam. Dengan menggunakan kerta kerja kalkulasi, dan mengacu pada biaya pembangunan Iradiator Gamma Merah Putih, optimalisasi biaya pembangunan untuk iradiator gamma komersial berikutnya dapat diprediksi (lihat Tabel 1).

Seperti disampaikan sebelumnya, gedung perkantoran tidak dibutuhkan untuk keberlangsungan sebuah pabrik komersial. Biaya sebesar Rp. 3,26M,- dapat dihilangkan. Untuk kegiatan pendahuluan, biaya sangat bergantung pada kematangan lahan yang akan dipakai. Dengan beranggapan bahwa lahan relatif matang untuk pembangunan gedung, maka optimalisasi biaya dapat dilakukan.

Penekanan biaya di Struktur lebih didominasi oleh fondasi. Ini kaitannya dengan fondasi *storage area*. Ketebalan lantai beton *storage area* juga dapat dioptimalkan. Untuk arsitektur, unsur kemewahan sebagai bagian dari kegiatan penelitian dan pengembangan juga dapat disubstitusi dengan komponen berstandar pabrik komersial. *Landscape* berupa lahan parkir dan taman juga dapat dioptimalkan.

Pada komponen pembiayaan mekanik dan instrumentasi, optimalisasi biaya dapat dilakukan dengan meningkatkan kandungan lokal terkait *safety related system* terutama untuk sumber daya manusia dan pemrograman. Beberapa kasus *over design* dan *over price* memberikan juga kontribusi penghematan biaya. Sedangkan untuk kelistrikan, optimalisasi biaya dapat dilakukan dengan mendesain ulang catu daya sesuai dengan kebutuhan iradiator gamma.

Tabel 1. Potensi optimalisasi biaya pembangunan iradiator gamma

Komponen Biaya	Biaya (M.Rp.)		Keterangan
	IGMP	Model komersial	
Perkantoran	3,26	-	Tidak perlu
Pendahuluan	6,21	1,24	Sesuai lahan
Struktur	20,14	13,95	Fondasi
Arsitektur	2,66	1,36	Standar pabrik
Landscape	3,86	0,97	Standar pabrik
Mekanik	23,05	16,13	Penghematan
Instrumentasi	12,94	10,08	Standar pabrik
Listrik	7,88	5,87	Turun daya
Sub - total	80,00	49,60	Rasio: 62%
Pengawas	2,08	2,29	Permen PUPR
Perencana	2,59	3,40	Permen PUPR
Pengelola teknis	0,55	0,47	Permen PUPR
Perijinan	-	1,00	Perkiraan
Modal operasional	-	1,50	Tambahan
Total	85,23	58,26	Rasio: 68%

Dengan berbagai optimalisasi tersebut, biaya pembangunan iradiator gamma industri komersial dapat ditekan dari Rp. 80M,- menjadi sekitar Rp. 49,6M,- atau hanya 62% dari harga IGMP. Untuk proyek pembangunan yang dibiayai negara, konsultan pengawas, perencana dan pengelola perasional harus pula dimasukkan. Pembangunan IGMP dilakukan mulai tahun 2015 sehingga menggunakan peraturan Menteri Pekerjaan Umum tahun 2007^[8,9]. Untuk pembangunan berikutnya, peraturan ini telah direvisi menjadi Permen PUPR No. 22 tahun 2018^[10]. Dengan menambahkan komponen biaya konsultan perijinan dan juga tambahan biaya untuk pembelian peralatan modal operasional (seperti peralatan mebel, forklift dan peralatan sejenisnya), maka untuk membangun iradiator gamma komersial siap operasi dibutuhkan biaya sekitar Rp. 58,3M atau 68% lebih murah dari model IGMP. Perlu dicatat bahwa harga lahan dan sumber radioaktif belum dimasukkan..

5. KESIMPULAN

IGMP dibangun dengan tujuan ganda: menguasai teknologi dan menunjukkan fasilitas iradiator gamma layak komersial. Setelah tujuan pertama tercapai paska pembangunan, maka tujuan berikutnya adalah mengadaptasi teknologi iradiator gamma menjadi layak komersial. Karena dalam rangka menguasai teknologi, maka biaya pembangunan IGMP menjadi reatif tinggi. Perihal ini terlihat dari berbagai komponen biaya yang dibutuhkan untuk kegiatan pengembangan namun tidak relevan lagi bila diperuntukkan tujuan komersial.

Dengan optimalisasi komponen pembiayaan yang tidak perlu dalam sebuah pabrik komersial, biaya pembangunan iradiator gamma dapat ditekan. Dalam kasus IGMP, eliminisai gedung perkantoran, penyesuaian spesifikasi teknis dengan standar pabrik komersial, efisiensi kebutuhan catu daya, pemanfaatan sumber daya manusia lokal, dan optimalisasi biaya lainnya dapat menekan biaya pembangunan iradiator gamma komersial. Dengan berbagai optimalisasi tersebut, biaya pembangunan fasilitas iradiator gamma skala komersial dapat ditekan menjadi sekitar Rp. 49,6M,- atau 62% dari harga IGMP. Biaya tersebut belum termasuk biaya konsultan, peralatan meubel

dan peralatan operasional. Dengan menambahkan komponen pelengkap tersebut, sehingga diperoleh sebuah fasilitas iradiator gamma komersial siap operasi, maka dibutuhkan biaya sekitar Rp. 58,3M atau 68% lebih murah dari model IGMP.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Satmoko, 2020, *Tantangan iradiator gamma merah putih sebagai pilot project layak komersial*, Prosiding Seminar Nasional Inovasi dan Pendayagunaan Teknologi Nuklir, Serpong, under review process.
- [2] R. Hayati., *Pengertian Studi Kasus, Jenis, Tujuan, dan Contohnya*. Available: <https://penelitianilmiah.com/studi-kasus/>. 19 Mei 2019.
- [3] Anonymous, *Kertas Kerja Rencana Anggaran Biaya Pembangunan Prototipe Iradiator Gamma*, Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir, 2017.
- [4] Tri Rintyaji Ratsangka, 2015, *Analisis Perbandingan Kekuatan, Metode Pelaksanaan Dan Biaya Antara Bored Pile Dengan Driven Pile Pada Pembangunan Hotel Best Western Adisucipto Yogyakarta*, Naskah Publikasi sebagai persyaratan mencapai derajat S1 Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [5] Iffa Mauriska Khairunnisa, Gerard Aponno, Moch. Sholeh, September 2020, *Analisis Perbandingan Pondasi Jack In Spun Pile Dan Bored Pile Berdasarkan Daya Dukung, Metode Dan Biaya Pada Apartmen Suncity Residence Sidoarjo*, Jurnal Online Skripsi – Manajemen Rekayasa Konstruksi, Volume 1, Nomor 2.
- [6] Rizal Bahari, Choirul Anam, *Pemanfaatan Potongan Aluminium Composite Panel (ACP) Sebagai Work Station*, Seminar Teknologi Perencanaan, Perancangan, Lingkungan, dan Infrastruktur, ISSN: 2715-4513, FTSP ITATS - Surabaya, 28 Agustus 2019.
- [7] Heru Tri Wibowo, 2019, *Perbandingan Waktu Dan Biaya Pekerjaan Pelapis Dinding Luar Antara Konvensional Dan Alumunium Composite Panel Pada Rumah Susun*, Tugas Akhir untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1), Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
- [8] Anonymous, *Pedoman Teknis Pembangunan Bangunan Gedung Negara*, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 45/PRT/M/2007, 2007.
- [9] Anonymous, *KERANGKA ACUAN KERJA Pembangunan Prototipe Iradiator Gamma 200 kCi*, Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir, 2015.
- [10] Anonymous, *Pembangunan Bangunan Gedung Negara*, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Nomor 22/PRT/M/2018, 2018.