

Efisiensi Penggunaan Material Blok Beton terhadap Batu Belah pada Pekerjaan Fondasi Dangkal

Hari Nuryanto, *Setya Winarno, Mochamad Teguh
Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
*)winarno@uii.ac.id

Received: 30 Maret 2021 Revised: 2 Maret 2022 Accepted: 18 Juli 2022

Abstract

Shallow foundation work with rubble stone material has several weaknesses, such as surface and shape irregularity and scarcity in a certain location. These weaknesses can be avoided through the use of concrete block material as a positive contribution for this research. This article provides the efficiency in the use of concrete blocks instead of rubble stones in shallow foundation work, by highlighting work productivity and total cost of work for both materials. Data is collected on a wall fence foundation work which implemented both materials successfully in Grogolan, Umbulmartani, Ngemplak, Sleman Yogyakarta Province. This research has revealed that the average productivity on concrete blocks and rubble stones is 0.799 m³/h and 0.590 m³/h respectively, in which there is a time efficiency that concrete block construction is 35,44% faster than that of rubble stone. Total cost of concrete block will be more expensive than rubble stone if the work volume is small, nevertheless it reaches a break-even-point at work volume of 11 m³, meaning that a cost efficiency of concrete block construction occurs if the work volume is more than 11 m³. Moreover, the implementation of concrete block has 4 intangible benefits i.e. saving space usage, minimum waste, ease of work, and more precise product.

Keywords: Concrete block, rubble stone, shallow foundation, productivity, cost

Abstrak

Pekerjaan fondasi dangkal yang menggunakan material batu belah memiliki kelemahan-kelemahan, misalnya, bentuk permukaan dan ukuran yang tidak beraturan, serta ketersediaannya yang langka di daerah-daerah tertentu. Kelemahan-kelemahan tersebut dapat dihindari dengan penggunaan material blok beton. Artikel ini menguraikan efisiensi penggunaan material blok beton terhadap batu belah pada pekerjaan fondasi dangkal, dengan membandingkan nilai produktivitas pekerjaan dengan biaya total pekerjaannya pada kedua material tersebut. Data penelitian diambil pada pekerjaan pemasangan fondasi pagar yang menggunakan kedua material tersebut pada sebuah lahan di Grogolan, Umbulmartani, Kecamatan Ngemplak, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Hasil yang diperoleh adalah bahwa produktivitas rerata pekerjaan fondasi dangkal dengan material blok beton adalah sebesar 0,799 m³/jam, dan pada material batu belah adalah sebesar 0,590 m³/jam, atau terdapat efisiensi waktu yang lebih cepat sebesar 35,44%. Biaya pekerjaan total dengan material blok beton pada volume pekerjaan yang kecil adalah lebih mahal dari pada material batu belah, namun akan mengalami titik impas pada volume pekerjaan 11 m³, sehingga efisiensi biaya terjadi jika volume pekerjaannya lebih dari 11 m³. Selain kontribusi positif berupa efisiensi biaya yang lebih murah dan waktu pengerjaan yang lebih cepat, penggunaan material blok beton juga akan memiliki 4 manfaat yang tidak berwujud (intangibile benefits), yaitu penghematan lahan penumpukan, material sisa sedikit, kemudahan pekerjaan, dan hasil pekerjaan yang lebih presisi.

Kata kunci: Blok beton, batu belah, fondasi dangkal, produktivitas, biaya

Pendahuluan

Efisiensi dalam pelaksanaan proyek konstruksi dapat diwujudkan antara lain dengan pengurangan

waktu pada penyelesaian proyek, penghematan biaya, pemilihan personil yang tepat, dan pengurangan material sisa. Dampak langsung dari strategi efisiensi tersebut terkait langsung dengan

tiga sasaran utama proyek, yaitu biaya, waktu, dan kualitas yang saling berkaitan. Apabila sasaran waktu ditekan, biaya proyek dapat membengkak dan kualitas pekerjaan bisa menurun. Demikian juga jika kualitas dinaikkan, implikasinya dapat berupa waktu yang lebih panjang dan juga biaya yang meningkat. Sumarningsih (2014) menyampaikan bahwa percepatan waktu konstruksi dengan upaya lembur akan dapat menurunkan produktivitas antara 8,8%-11,84% dan menaikkan upah pekerja sebesar 58,63%-79,31%. Efisiensi waktu dapat diukur dari nilai produktivitas pekerjaannya, sedangkan efisiensi biaya bisa dihitung melalui analisis biaya pekerjaan total, yaitu jumlah dari biaya langsung dan tidak langsungnya (Soekiman *et al*, 2011).

Produktivitas pada pekerjaan konstruksi yang dilakukan secara berulang-ulang akan dapat menghasilkan nilai produktivitas yang meningkat atau menghasilkan fenomena *learning effect*. Produktivitas pekerjaan yang meningkat merupakan salah satu indikator adanya efisiensi yang dapat diwujudkan dalam sebuah *learning curve* atau kurva belajar. Peningkatan produktivitas dalam kurva belajar dapat dipakai dalam memprediksi waktu/siklus kerja lanjutan dan kinerja pekerjaan terkait (Panas & Pantouvakis, 2018 dan Wong *et al*, 2007). Beberapa investigasi terkait dengan peningkatan produktivitas pekerja sebelumnya telah diteliti melalui teori *learning curve* (Jarkas, 2010).

Model matematika kurva pembelajaran dapat digunakan pada pekerjaan konstruksi untuk memprediksi waktu dan biaya yang dibutuhkan dalam suatu pengulangan pekerjaan (Mályusz & Pém, 2014). Peningkatan produktivitas yang digambarkan dalam kurva pembelajaran dapat menyiratkan bahwa ketika banyak pekerjaan dan tugas yang serupa atau hampir identik dilakukan, maka upaya yang dilakukan untuk melakukan tugas tersebut dapat dikurangi pada setiap pelaksanaan tugas yang berurutan (Ostwald & McLaren, 2003). Li *et al* (2019) telah memperkenalkan pendekatan alternatif untuk permodelan produktivitas dan kurva belajar berdasarkan teori ketidakpastian dengan memecahkan masalah penjadwalan *single-machine*. Pada penelitian yang lain, Brockmann & Brezinski (2015) melakukan investigasi tentang analisis peningkatan produktivitas pada pelaksanaan konstruksi jembatan dengan metode *segmental-precast* di Bangkok, Thailand.

Analisis produktivitas dan kurva belajar sebagai indikator efisiensi pada pekerjaan yang lain seperti insulasi atap dilakukan oleh Mályusz & Pém (2013). Data yang dipakai adalah volume dan waktu pekerjaan yang terbagi dalam tujuh siklus pekerjaan. Produktivitas pekerjaan yang tinggi akan

dapat mempercepat waktu proyek melalui mekanisme pengendalian yang sistematis. Kim *et al* (2021) mengungkapkan bahwa pengukuran tingkat produktivitas dapat dimodelkan dan pada 15 studi kasus proyek terdapat hanya 9,46% perbedaan nilai antara pengukuran yang menggunakan model dan fakta di lapangan. Hasil ini menyiratkan perlunya upaya pemilihan material dan metode konstruksi yang tepat sehingga efisiensi proyek dapat dimaksimalkan.

Salah satu contoh pekerjaan konstruksi yang berulang dan masih sering dilakukan oleh masyarakat umum adalah pekerjaan fondasi dangkal, dimana peningkatan produktivitasnya merupakan suatu bentuk efisiensi. Peningkatan produktivitas dapat menekan waktu pengerjaan sehingga biaya upah pekerja, biaya manajemen dan *overhead* dapat ditekan. Biaya *overhead* merupakan biaya yang harus dikeluarkan walaupun tidak terkait langsung dengan konstruksi suatu proyek. Aspek biaya menjadi sangat penting karena menyangkut estimasi biaya, aliran kas, dan profit dari proyek tersebut. Perencanaan biaya yang matang akan dapat maksimal untuk pemantauan data kuantitas dan monitor biaya, termasuk proses analisis dan tindakan koreksi yang diperlukan sebelum terlambat dan terjadi kerugian (Kerzner, 2003).

Pada umumnya material fondasi dangkal menggunakan batu belah atau batu alam yang direkatkan dengan mortar (adukan pasir, semen, dan air), sehingga membentuk susunan material fondasi dangkal yang kompak. Kelemahan-kelemahan pemakaian batu belah untuk fondasi dangkal antara lain: bentuk permukaan dan ukuran yang tidak beraturan, batu yang terlalu besar harus dibelah, dan ketersediaannya yang langka di daerah tertentu. Kelangkaan material batu belah, misalnya, karena berada di daerah yang tidak terdapat gunung berapi dan berada di dataran rendah. Sebagai contoh, kelangkaan batu belah pernah terjadi di Sampit, Kalimantan Timur dan Lumajang, Jawa Timur (Harijanti, 2016).

Kelangkaan batu belah di beberapa tempat di Indonesia memberikan tantangan untuk menciptakan material fondasi dangkal yang baru dan yang dapat dicetak dengan sistem fabrikasi, sehingga kebutuhan mortar pengikatnya juga dapat diminimalkan, serta waktu pekerjaan dapat dipercepat. Salah satu material fondasi dangkal yang dapat menggantikan material batu belah adalah dengan menggunakan blok beton persegi, yang mana permukaannya dibuat kasar.

Nuryanto & Winarno (2021) telah meneliti tentang implementasi material blok beton yang digunakan pada pembangunan fondasi pagar sepanjang

66,7m di Krandon, Wedomartani, Ngemplak, Sleman, Yogyakarta. Terdapat 2 tahap pada pekerjaan pagar tersebut, Tahap I adalah sepanjang 29 m di sisi Utara, dan Tahap II adalah sepanjang 37,7 m di sisi Selatan.

Penelitian Nuryanto & Winarno (2021) hanya terbatas pada fondasi dangkal untuk pagar dengan material blok beton saja. Berangkat dari adanya material blok beton dan batu belah yang dapat dipergunakan sebagai material fondasi dangkal, hal ini membuka tantangan untuk mengkaji lebih mendalam tentang hubungan antara nilai produktivitas dan biaya total pekerjaan pada kedua material tersebut yang dikerjakan di lokasi yang sama dan dikerjakan oleh personil yang sama pula. Pentingnya lokasi dan personil yang sama diungkapkan juga oleh Khanh *et al* (2021).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur efisiensi penggunaan material blok beton terhadap batu belah pada pekerjaan fondasi dangkal yang menggunakan dua jenis material tersebut pada lokasi dan personil kerja yang sama, dengan membandingkan nilai produktivitas pekerjaan dengan biaya total pekerjaannya pada kedua material tersebut. Kelebihan penggunaan material blok beton ini akan diungkap dengan sistematis sebagai bagian kontribusi positif.

Fondasi dangkal.

Fondasi berfungsi untuk meneruskan beban bangunan ke tanah. Fondasi bangunan harus diletakkan pada lapisan tanah yang cukup keras, padat, dan mampu mendukung beban bangunan di atasnya tanpa menimbulkan penurunan yang berlebihan (Rajapakse, 2016). Dimensi fondasi dihitung berdasarkan beban bangunan dan beban-beban lainnya seperti di peraturan pembebanan. Fondasi dapat dibagi menjadi dua jenis: fondasi dangkal dan fondasi dalam.

Fondasi dangkal adalah fondasi yang memiliki perbandingan antara kedalaman dan lebar fondasi kurang dari empat. Fondasi dangkal sering menggunakan material batu belah dan sudah berlangsung turun-temurun dilakukan oleh masyarakat Indonesia pada umumnya. Penggunaan batu bulat untuk fondasi dangkal tidak baik untuk memenuhi konsep/kaidah rumah tahan gempa (Fauzi, 2009).

Fondasi batu belah

Material batu belah biasanya berasal batu kali atau batu gunung. Di tempat penambangan, batu yang besar perlu dibelah-belah untuk memudahkan proses transportasi ke lokasi proyek. Tukang akan

membelah batu lagi jika ukurannya masih relatif besar untuk dipasang pada struktur fondasi.

Fondasi batu belah dalam proses konstruksinya masih menggunakan banyak tenaga kerja secara tradisional, mulai dari proses pembelahan batu, pemasangan batu, dan pengikatan antar batu dengan mortar berbahan adukan semen, pasir, dan air. Proses pekerjaan memerlukan waktu yang relatif lama karena tuntutan hasil pemasangan fondasi batu belah harus baik, antar batu belah saling mengunci, dan tidak terdapat celah/rongga udara di antara susunan batu belah karena terisi oleh mortar sebagai perekatnya. Volume mortar perekat yang dipasang antara batu belah akan menjadi lebih banyak, manakala pemasangan antar batu-batu belah ini dilakukan dengan serampangan, dan pada akhirnya biaya pembangunan fondasi dengan material batu belah menjadi lebih mahal. Proses pemasangan fondasi batu belah dapat dilihat di Gambar 1.



Gambar 1. Pemasangan fondasi batu belah

Fondasi blok beton

Material blok beton berbentuk persegi dan seragam sehingga dapat ditumpuk dengan baik dan menghemat lahan penumpukan. Cara pemasangan fondasi blok beton seperti memasang dinding bangunan, dan pemasangannya langsung di atas tanah serta tidak memerlukan dukungan atau pijakan di ketinggian. Dengan pemasangan seperti ini, pekerjaan dapat dilaksanakan dalam waktu yang singkat, karena dimensi materialnya seragam sehingga material mudah dipasang sesuai dengan dimensi fondasi yang diinginkan. Material blok beton untuk fondasi dangkal telah dipabrikasi di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi (PIMVM) Universitas Islam Indonesia (UII) Yogyakarta dengan ukuran 12 cm x 22 cm x 40 cm dan berat rata-ratanya adalah sebesar 20 kg. Pembuatan blok beton dilakukan dengan mencetak adukan bahan susunnya (semen, batu diameter 10 cm – 4 cm, dan pasir kasar, serta air) yang dapat dipabrikasi secara sederhana oleh tukang lokal dengan peralatan tukang pada umumnya. Sampai saat ini belum ada

dimensi blok beton standar untuk dipakai sebagai material fondasi dangkal.

Nuryanto & Winarno (2021) mengungkapkan bahwa keuntungan dari blok beton ini adalah (1) dapat dibuat secara fabrikasi, (2) kebutuhan mortar perekat sedikit, (3) tidak memerlukan tempat penempatan yang luas di lokasi proyek, (4) waktu pemasangan yang lebih cepat, dan (5) material sisa sedikit. Keuntungan-keuntungan seperti ini juga diterapkan pada penggunaan material batako ringan dengan agregat dari sekam padi untuk pekerjaan dinding (Winarno, 2021; Winarno, 2018b; dan Pramono *et al*, 2020) dan penggunaan plat beton pracetak untuk tandon air (Winarno *et al*, 2015 dan Winarno, 2018a). Fondasi blok beton tersebut sudah diaplikasikan oleh Nuryanto & Winarno (2021) untuk fondasi pagar di Krandon (Gambar 2).



Gambar 2. Pemasangan fondasi blok beton

Produktivitas pekerjaan

Produktivitas pekerjaan adalah suatu ukuran perbandingan kualitas dan kuantitas dari pekerja atau kelompok pekerja dalam satuan waktu untuk mencapai hasil atau prestasi kerja dengan sumber daya tertentu. Produktivitas pekerjaan memiliki dua dimensi, yaitu ketepatan atau efektifitas metode kerja dan efisiensi dalam penggunaan sumber daya. Dalam pekerjaan fondasi dangkal, implementasi penggunaan material blok beton atau batu belah dapat dianggap sudah cukup efektif untuk mewujudkan fondasi yang kuat dan kokoh seperti yang direncanakan. Namun demikian, efisiensi dalam penghematan waktu dan biaya total untuk kedua material tersebut masih perlu dikaji lebih lanjut. Hubungan antara produktivitas pekerjaan dan waktu penyelesaiannya sangat tergantung dari proses belajar dan adaptasi terhadap sebuah pekerjaan yang berulang, yang dapat diwujudkan dalam kurva belajar. Produktivitas kerja dipengaruhi oleh metode kerja, personil pekerja, lokasi proyek, cuaca, tipe material, dan jenis peralatannya.

Nilai produktivitas dapat membantu untuk memprediksi lamanya waktu pekerjaan dan besarnya volume pekerjaan yang akan dihasilkan pada siklus tertentu. Siklus pada pekerjaan yang berulang akan menumbuhkan proses belajar karena adanya proses adaptasi di dalamnya. Nilai potensial dari proses adaptasi dalam pekerjaan adalah kemampuannya dalam memprediksi waktu/siklus kerja lanjutan (Panas & Pantouvakis, 2018). Fungsi utama adaptasi pekerjaan dapat diwujudkan dalam kurva belajar yang tidak hanya untuk pengestimasi, tetapi juga dapat digunakan dalam memprediksi kinerja produktivitas pekerjaan (Wong *et al*, 2007).

Material blok beton untuk pekerjaan fondasi pagar di Krandon sudah diinvestigasi oleh Nuryanto dan Winarno (2021), yang dibagi dalam pekerjaan di Tahap I dan Tahap II. Personil pelaksana pekerjaan adalah 1 orang mandor, 2 orang tukang, dan 3 orang pekerja. Produktivitas pekerjaan Tahap I adalah sebesar 0,753 m³/jam dan Tahap II sebesar 0,832 m³/jam, atau reratanya sebesar 0,792 m³/jam. Pada pekerjaan ini, terdapat peningkatan produktivitas dan efisiensi pada pekerjaan Tahap I ke Tahap II sebesar 10,49%.

Biaya pekerjaan

Biaya total pekerjaan dibagi menjadi dua, yaitu: biaya langsung dan biaya tidak langsung. Biaya langsung adalah biaya yang langsung berkaitan dengan item pekerjaan, yang meliputi biaya material, biaya peralatan, dan biaya upah pekerja. Sedangkan, biaya tidak langsung adalah biaya yang tidak langsung berkaitan dengan item pekerjaan, yang meliputi biaya *overhead*, biaya tak terduga, dan keuntungan. Biaya *overhead* antara lain berupa biaya fasilitas sementara di proyek, dokumentasi, komunikasi, rapat-rapat, administrasi, dan gaji staf teknis di lapangan dan di kantor. Besarnya biaya total ini sangat tergantung dengan keberadaan lokasi proyeknya. Proyek yang memerlukan waktu singkat akan dapat menghemat biaya *overhead*.

Perencanaan, penjadwalan, dan pengendalian biaya dalam pelaksanaan proyek konstruksi menjadi suatu elemen penting dalam keberhasilan suatu proyek (Auzan *et al*, 2017). Keputusan pada tahap awal proyek konstruksi memiliki dampak tertinggi pada kinerja penghematan proyek selanjutnya. Potensi penghematan biaya merupakan informasi yang berguna bagi pemilik dalam mempertimbangkan kelayakan dan pengembangan proyek selanjutnya (Phaobunjong, 2002).

Biaya yang timbul pada proyek dan estimasi perkiraan biaya harus didokumentasikan secara menyeluruh, termasuk langkah-langkah yang

terlibat dalam model pembiayaan (Dysert, 2001). Penghitungan biaya harus dilakukan sebelum pelaksanaan proyek, di antaranya adalah analisis biaya material, tenaga kerja, dan peralatan. Pemisahan tenaga kerja dari biaya material sangat penting dalam manajemen biaya (Kerzner, 2003).

Pekerjaan fondasi adalah pekerjaan utama dan pertama yang dilakukan dalam proyek konstruksi, yang pada umumnya masih berupa lahan terbuka. Pada saat tersebut, pekerja konstruksi harus mengukur kondisi lapangan, menggali tanah, dan memasang material fondasi tanpa adanya peneduh. Pekerja konstruksi akan terpapar sinar matahari atau hujan yang secara langsung dan akan mempengaruhi ketahanan tubuh mereka.

Apabila ketahanan tubuh berkurang, maka produktivitas personil di pekerjaan fondasi juga bisa berkurang, yang dapat berimplikasi pada waktu penyelesaian pekerjaan fondasi yang lebih lama. Apabila terdapat keterlambatan pekerjaan fondasi, hal ini berimplikasi pada pengunduran jadwal pekerjaan berikutnya. Pengunduran jadwal ini akan berakibat dengan penambahan biaya *overhead* yang tidak kecil. Untuk itu, pemakaian material pada pekerjaan fondasi yang dapat mempersingkat waktu proyek dan menghemat biaya *overhead* adalah salah satu penyelesaian yang tepat, misalnya adalah dengan pemakaian material blok beton.

Dalam manajemen biaya, upaya-upaya efisiensi perlu dilakukan melalui inovasi-inovasi yang kreatif, agar biaya *overhead* bisa dihemat dan tanpa mengurangi kualitas pekerjaan. Efisiensi biaya dalam pemakaian material blok beton pada pekerjaan fondasi dangkal dibandingkan dengan dengan material batu belah harus dilihat secara utuh dengan konsep biaya total pekerjaan. Karakteristik pekerjaan fondasi dengan material blok beton adalah kecepatan konstruksinya yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan material batu belah, sehingga dapat mengurangi waktu pelaksanaan dan pada akhirnya dapat menghemat biaya *overhead*.

Cakupan perhitungan biaya pekerjaan fondasi untuk material blok beton dan batu belah dibatasi pada biaya material, biaya upah pekerja, dan penghematan biaya *overhead*. Penghematan biaya *overhead* dihitung dari selisih waktu penyelesaian pekerjaan fondasi antara material blok beton dan batu belah yang dikalikan dengan biaya *overhead* proyek. Perhitungan biaya pekerjaan diuraikan dalam Persamaan 1-6 berikut.

$$t_{bl} = \frac{V_{bl}}{P_{bl}} \quad (1)$$

$$t_{bt} = \frac{V_{bt}}{P_{bt}} \quad (2)$$

$$\Delta t = t_{bl} - t_{bt} \quad (3)$$

$$PO = \Delta t \times O \quad (4)$$

$$BT_{bl} = M_{bl} + U_{bl} \quad (5)$$

$$BT_{bt} = M_{bt} + U_{bt} - PO \quad (6)$$

Dimana t_{bl} merupakan durasi pekerjaan fondasi batu belah, t_{bt} merupakan durasi pekerjaan fondasi blok beton, V_{bl} merupakan volume pekerjaan fondasi batu belah, V_{bt} merupakan volume pekerjaan fondasi blok beton, P_{bl} merupakan produktivitas pekerjaan fondasi batu belah, P_{bt} merupakan produktivitas pekerjaan fondasi blok beton.

Selanjutnya Δt merupakan penghematan waktu pekerjaan, O merupakan biaya *overhead* proyek pekerjaan fondasi, PO merupakan penghematan biaya *overhead*, M_{bl} merupakan biaya material fondasi batu belah, M_{bt} merupakan biaya material fondasi blok beton, U_{bl} merupakan biaya upah fondasi batu belah, U_{bt} merupakan biaya upah fondasi blok beton, BT_{bl} merupakan biaya total pekerjaan fondasi batu belah, dan BT_{bt} merupakan biaya total pekerjaan fondasi blok beton.

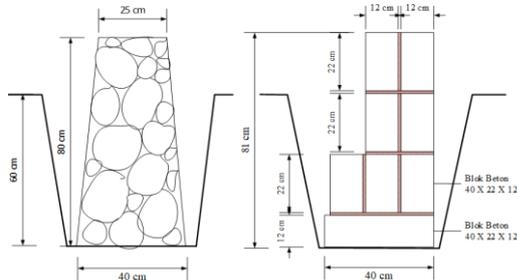
Metode

Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian di Krandon sebelumnya (Nuryanto & Winarno, 2021). Data dikumpulkan dari pembangunan pondasi pagar di Grogolan, Umbulmartani, Kec. Ngemplak, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Material blok beton diaplikasikan di sisi Utara sepanjang 50 m, dan material batu belah dipakai di sisi Selatan sepanjang 45,5 m. Ukuran blok beton adalah 12 cm x 22 cm x 40 cm yang sama dengan yang diaplikasikan di Krandon. Material batu belah berasal dari sekitar Gunung Merapi.

Ketebalan mortar pengisi fondasi blok beton adalah 1 cm, dan perbandingan campuran mortar 1 semen: 2 pasir: 2 abu batu, sedangkan campuran mortar untuk fondasi batu belah adalah 1 semen: 5 pasir: 1 abu batu. Material abu batu digunakan sebagai upaya untuk memanfaatkan limbah penggergajian batu, yang selama ini kurang dapat dimanfaatkan. Ketersediaan limbah abu batu ini tersedia cukup memadai karena terdapat banyak industri penggergajian batu di sekitar gunung-gunung berapi di Indonesia. Misalnya: di Kecamatan Cangkringan di lereng Gunung Merapi Sleman, terdapat sekitar lima buah industri semacam ini.

Personil tenaga kerja yang melaksanakan pekerjaan fondasi di Grogolan ini terdiri dari satu orang mandor, dua orang tukang, dan tiga orang pekerja. Personil tenaga kerja ini adalah sama dengan yang mengerjakan fondasi di Krandon. Lokasi pekerjaan di Grogolan memiliki tanah keras pada kedalaman

sekitar 60 cm. Tinggi fondasi batu belah adalah 80 cm, sedangkan tinggi blok beton (78 cm) ditambah spasi antar blok beton (3 cm), yaitu 81 cm. Kedalaman galian tanah adalah dibuat sama, yaitu sebesar 60 cm untuk kedua macam fondasi tersebut (Gambar 3).



Gambar 3. Potongan fondasi batu belah dan blok beton

Data primer dikumpulkan melalui pengukuran dan pencatatan langsung dengan detil dari awal sampai dengan pekerjaan selesai 100% di lokasi pekerjaan fondasi, serta direkam dengan kamera foto dan *video recorder* untuk kebutuhan validasi hasil pengukuran langsung dan bukti dokumentasi. Pengukuran produktivitas dan biaya dilakukan dengan pengambilan data primer yang berupa (1) capaian volume pekerjaan, (2) waktu yang dibutuhkan secara langsung dari awal sampai akhir pekerjaan, dan (3) total biaya material dan upah pekerja di lokasi pekerjaan. Data primer lainnya adalah data biaya *overhead* pada pekerjaan fondasi yang digali melalui survei dengan media telepon kepada 3 orang pimpinan pengembang perumahan di Yogyakarta.

Perusahaan pengembang perumahan dipilih karena praktik bisnisnya terkait langsung dengan pekerjaan fondasi dangkal dalam volume pekerjaan yang banyak. Semakin cepat pengerjaan fondasinya, pengusaha pengembang perumahan dapat semakin menghemat biaya *overhead* secara signifikan. Untuk memberikan gambaran yang lebih luas terhadap perhitungan biaya total pekerjaan fondasi di tempat lain, terdapat dua buah survei tentang besaran upah dan biaya *overhead* melalui media telepon ke Bekasi dan Surabaya. Data tentang nilai produktivitas pekerjaan diasumsikan mengikuti hasil pengamatan di Grogolan Sleman untuk semua analisis.

Data sekunder yang berupa harga material dikumpulkan melalui survei harga di media internet, yang mana harga semen di Bekasi dan Surabaya memiliki harga yang relatif sama dengan harga di Grogolan, Sleman. Harga pasir dan upah memiliki perbedaan yang mencolok antara Grogolan, Bekasi, dan Surabaya, sedemikian rupa sehingga data harga blok beton di Bekasi dan

Surabaya dihitung dengan perkalian antara persentase rata-rata kenaikan harga pasir dan upah di Bekasi dan Surabaya dengan harga blok beton di Grogolan Sleman. Harga abu batu disamakan dengan harga pasir seperti harga di Grogolan. Proses produksi blok beton dapat dipabrikasi secara sederhana oleh pekerja setempat, sehingga pembuatan blok beton di Bekasi dan Surabaya diasumsikan dengan cara diproduksi oleh industri lokal setempat. Untuk itu, semua harga material adalah harga material sampai di lokasi pekerjaan (yang sudah termasuk biaya transportasi lokalnya). Data tentang kekuatan, karakteristik fisik, dan mekanis tidak dikaji dalam penelitian ini.

Tahap terakhir dalam penelitian ini adalah dengan melakukan *focus group discussion* (FGD) dengan dihadiri oleh enam orang personil yang terlibat langsung dalam pelaksanaan pekerjaan fondasi di Grogolan Sleman, satu orang akademisi, dan seorang pemuka masyarakat setempat. FGD ini untuk mengungkapkan kelemahan dan kelebihan yang lain dari material blok beton untuk material fondasi dangkal yang baru saja diaplikasikan.

Hasil dan Pembahasan

Data dan analisis produktivitas kerja

Data produktivitas kerja dilakukan dengan pengamatan langsung di lokasi pekerjaan. Setiap hari, proses pekerjaan dibagi menjadi 2 sesi, yaitu sesi pagi jam 08.00 – 12.00, dan siang jam 13.00 - 16.00. Semua pekerjaan galian tanah sudah diselesaikan dengan baik sebelum pekerjaan fondasi dimulai. Durasi jam kerja yang diukur adalah disesuaikan dengan lamanya tukang bekerja secara efektif, yang tidak memasukkan (1) saat jam istirahat, (2) saat tukang mengerjakan pekerjaan selain pemasangan fondasi, dan (3) saat cuaca sedang hujan.

Volume pekerjaan fondasi blok beton adalah sebesar 12,52 m³ dan dapat diselesaikan dalam waktu 15,667 jam. Sedangkan volume pekerjaan fondasi batu belah adalah sebesar 11,83 m³ dan dapat diselesaikan dalam waktu 20,05 jam.

Nilai produktivitas dihitung dalam satuan m³/jam dan m³/hari, dengan asumsi bahwa dalam 1 hari terdapat 7 jam kerja efektif (dan 1 jam istirahat). Hasil observasi menunjukkan bahwa waktu kerja efektif tidak bisa maksimal karena adanya hujan dan adanya istirahat makan snack. Pada Tabel 1 dan 2, tampak nilai produktivitas kumulatif meningkat sejak awal pekerjaan, yang mengindikasikan adanya perwujudan proses belajar terhadap pekerjaan fondasi.

Khusus pada pekerjaan fondasi batu belah, pada hari ke 4 atau hari terakhir terdapat penurunan sedikit nilai produktivitasnya. Hal ini dikarenakan para tukang pada saat hari terakhir tersebut juga merapikan pekerjaan yang ada, yang mana volume pekerjaan merapikan ini nilainya sangat kecil. Produktivitas kumulatif rata-rata pada fondasi batu belah dan blok beton adalah sebesar 0,590 m³/jam dan 0,799 m³/jam masing-masing, atau ada peningkatan sebesar 0,209 m³/jam pada material blok beton. Hal ini mencerminkan adanya efisiensi pada penggunaan material blok beton sebesar 0,209 m³/jam, atau efisiensi waktu rata-ratanya adalah

bisa lebih cepat 35,44%. Peningkatan produktivitas ini dapat disajikan dalam kurva belajar di dalam Gambar 4. Kurva belajar di Gambar 4 diwujudkan dalam persamaan logaritmis, dan kurva pada blok beton tampak naik lebih tajam dari pada batu belah. Temuan ini seperti disajikan dalam Persamaan 7 dan 8.

$$y=0,1376 \ln(x)+ 0,4551 \text{ untuk blok beton} \quad (7)$$

$$y=0,0553 \ln(x)+ 0,4591 \text{ untuk batu belah} \quad (8)$$

dimana y adalah produktivitas pekerjaan kumulatif dan x adalah volume pekerjaan kumulatif.

Tabel 1. Hasil pengukuran produktivitas pekerjaan fondasi blok beton

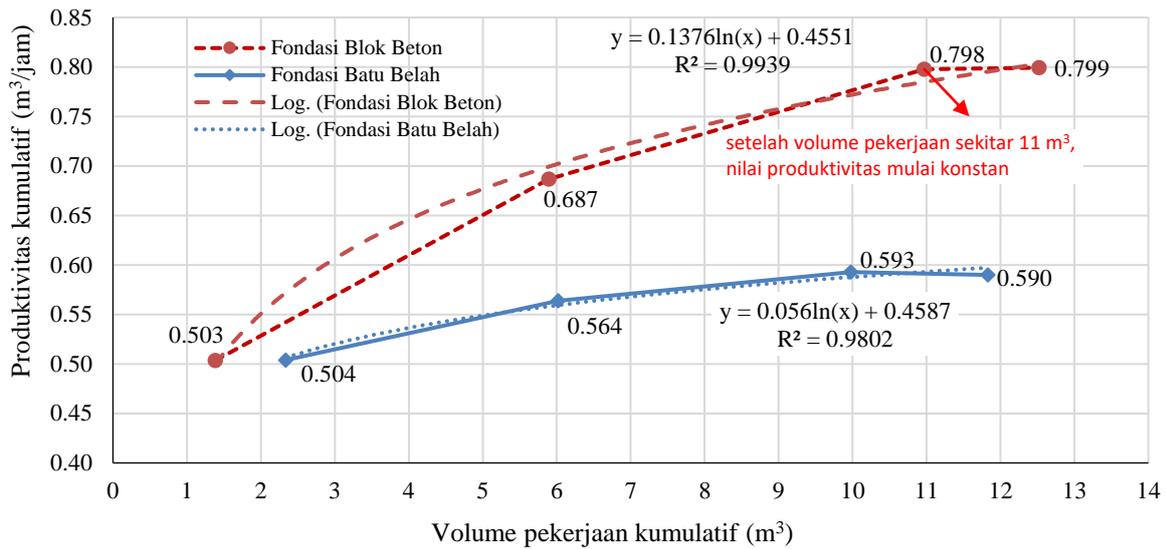
Hari	Sesi	Mulai	Selesai	Durasi (jam)		Volume pekerjaan (m ³)		Produktivitas kumulatif	
				Per sesi	Kumulatif	Per sesi	Kumulatif	m ³ /jam	m ³ /hari*
1	Siang	13:15	16:00	2,750		1,385			
			Jumlah	2,750	2,750	1,385	1,385	0,503	3,524
2	Pagi	08:15	10:10	1,917		1,148			
		10:30	11:45	1,250		1,230			
	Siang	13:05	14:30	1,417		1,038			
		14:45	16:00	1,250		1,093			
	Jumlah			5,833	8,583	4,509	5,894	0,687	4,807
3	Pagi	08:10	09:25	1,250		1,111			
		10:10	11:40	1,500		1,224			
	Siang	13:20	14:40	1,333		2,371			
		15:00	16:05	1,083		0,368			
Jumlah			5,167	13,750	5,074	10,968	0,798	5,583	
4	Pagi	08:15	09:25	1,167		0,483			
		09:55	10:40	0,750		1,070			
		Jumlah			1,917	15,667	1,553	12,520	0,799

*) 1 hari kerja diasumsikan 7 jam kerja efektif dan 1 jam istirahat

Tabel 2. Hasil pengukuran produktivitas pekerjaan fondasi batu belah

Hari	Sesi	Mulai	Selesai	Durasi (jam)		Volume Pekerjaan (m ³)		Produktivitas kumulatif	
				Per sesi	Kumulatif	Per sesi	Kumulatif	m ³ /jam	m ³ /hari*
1	Pagi	08:11	09:45	1,567		0,747			
		10:03	11:45	1,700		0,495			
	Siang	13:08	14:30	1,367		1,092			
		Jumlah			4,633	4,633	2,335	2,335	0,504
2	Pagi	08:06	09:30	1,400		0,883			
		10:02	12:00	1,967		0,441			
	Siang	13:03	15:00	1,950		1,389			
		15:16	16:00	0,733		0,973			
Jumlah			6,050	10,683	3,687	6,021	0,564	3,945	
3	Pagi	08:06	10:00	1,900		1,036			
		10:01	12:00	1,983		0,626			
	Siang	13:07	14:30	1,383		1,215			
		14:52	15:45	0,883		1,079			
Jumlah			6,150	16,833	3,957	9,978	0,593	4,149	
4	Pagi	08:07	09:20	1,217		1,337			
		09:45	11:45	2,000		0,514			
		Jumlah			3,217	20,050	1,852	11,830	0,590

*) 1 hari kerja diasumsikan 7 jam kerja efektif dan 1 jam istirahat



Gambar 4. Kurva belajar pada pelaksanaan pekerjaan fondasi blok beton dan batu belah

Proses belajar di Gambar 4 ditunjukkan dengan peningkatan produktivitas yang terjadi pada awal pelaksanaan pekerjaan. Setelah itu, pada titik waktu tertentu nilai produktivitas akan cenderung konstan, sampai dengan tukang dan pekerja mengakhiri pekerjaannya. Proses belajar pada pekerjaan pondasi blok beton terjadi sampai volume pekerjaan sekitar 11 m³ dan pada batu belah terjadi pada volume pekerjaan sekitar 10 m³. Selanjutnya setelah volume pekerjaan tersebut tercapai, produktivitas pekerjaan relatif konstan karena proses belajar sudah tidak terjadi lagi.

Data dan analisis biaya pekerjaan

Beberapa hal berikut dipakai sebagai dasar perhitungan biaya pekerjaan total, antara lain biaya total pekerjaan dibatasi pada biaya material, biaya

upah, dan biaya *overhead*. Peralatan menjadi tanggung jawab dari pihak tukang dan penghematan biaya *overhead* dihitung dengan perkalian antara selisih waktu penyelesaian pekerjaan antara pondasi batu belah dan blok beton dengan biaya *overhead* nya. Volume pekerjaan dihitung dengan perkalian antara luas penampang pondasi dan panjang pagar.

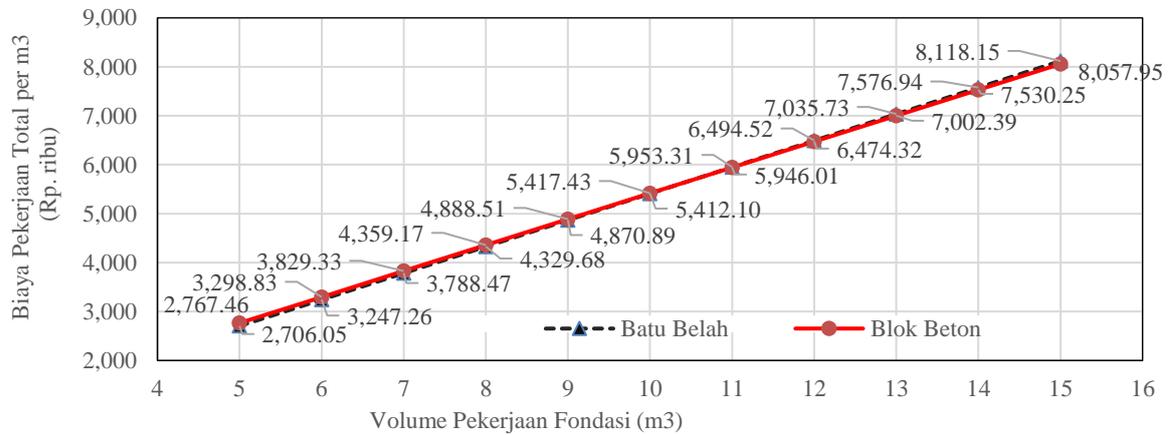
Volume pekerjaan pondasi batu belah adalah 0,26 m² x 45,5 m = 11,83 m³ dan blok beton adalah 0,25 m² x 50 m = 12,52 m³ (lihat Tabel 3 dan 4). Selanjutnya perhitungan durasi pekerjaan disajikan pada Tabel 5, Kolom (4) dan (5) yang didasarkan pada nilai produktivitas pekerjaan sesuai temuan kurva belajar pada Persamaan 7 dan 8. Nilai produktivitas ini adalah tidak konstan karena mengikuti kurva, sehingga pada volume pekerjaan kecil, dan produktivitasnya juga kecil.

Tabel 3. Perhitungan biaya upah dan material per m³, pondasi blok beton di Grogolan Sleman

Komponen	Biaya	
	Rp (ribu)	%
Upah tenaga kerja		
(7 jam kerja efektif per hari)		
3 orang pekerja @Rp 107/hari	718,58	
2 orang tukang @ Rp 127/hari	568,60	
1 orang mandor @ Rp 200/hari	447,71	
Jumlah	1.734,89	22,43%
Material		
Blok beton (1070 bh @Rp 4,8/buah)	5.136,00	
Pasir (±0,44 m ³ ; harga @Rp 162,5/m ³)	71,50	
Abu batu (±0,44 m ³ ; harga @Rp 162,5/m ³)	71,50	
Semen (±16 sak ; harga @Rp 45/sak)	720,00	
Jumlah	5.999,00	77,57%
Biaya total	7.733,89	100%
Volume pekerjaan = 12,52 m ³		
Biaya upah dan material pondasi blok beton	617,72	per m ³

Tabel 4. Perhitungan biaya upah dan material per m³, pondasi batu belah di Grogolan Sleman

Komponen	Biaya	
	Rp (ribu)	%
Upah tenaga kerja		
(7 jam kerja efektif per hari)		
3 orang pekerja @Rp 107/hari	940,07	
2 orang tukang @ Rp 127/hari	743,86	
1 orang mandor @ Rp 200/hari	585,71	
Jumlah	2.269,64	35,45%
Material		
Batu belah (±15 m ³ atau 2 truk @Rp 1.100)	2.200,00	
Pasir (±4,26 m ³ ; harga @Rp 162,5/m ³)	692,25	
Abu batu (±0,85 m ³ ; harga @Rp 162,5/m ³)	138,13	
Semen (±24,5 sak ; harga @Rp 45/sak)	1.102,50	
Jumlah	4.132,88	64,55%
Biaya total	6.402,52	100%
Volume pekerjaan = 11,83 m ³		
Biaya upah dan material pondasi batu belah	541,21	per m ³



Gambar 5. Biaya pekerjaan total pada pekerjaan pondasi di Grogolan Sleman

Tabel 5. Perhitungan biaya pekerjaan total pada pekerjaan pondasi di Grogolan Sleman

Volume pekerjaan (m ³)	Biaya material dan upah (Rp ribu)		Durasi pekerjaan (Jam)			Biaya overhead (Rp ribu/jam)	Penghematan biaya overhead (Rp ribu)	Biaya total (Rp. ribu)		Selisih (%)
	Batu belah	Blok beton	Batu belah	Blok beton	Selisih			Batu belah	Blok beton	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
	=(1)x541,21	=(1)x617,72			=(4)-(5)		=(6)x(7)	=(2)	=(3)-(8)	
5	2.706,05	3.088,62	9,12	7,39	1,73	185,42	321,15	2.706,05	2.767,46	2,27
6	3.247,26	3.706,34	10,75	8,55	2,20	185,42	407,51	3.247,26	3.298,83	1,59
7	3.788,47	4.324,06	12,35	9,68	2,67	185,42	494,73	3.788,47	3.829,33	1,08
8	4.329,68	4.941,78	13,94	10,79	3,14	185,42	582,61	4.329,68	4.359,17	0,68
9	4.870,89	5.559,51	15,50	11,88	3,62	185,42	671,00	4.870,89	4.888,51	0,36
10	5.412,10	6.177,23	17,05	12,95	4,10	185,42	759,80	5.412,10	5.417,43	0,10
11	5.953,31	6.794,95	18,59	14,01	4,58	185,42	848,94	5.953,31	5.946,01	-0,12
12	6.494,52	7.412,68	20,12	15,06	5,06	185,42	938,36	6.494,52	6.474,32	-0,31
13	7.035,73	8.030,40	21,63	16,09	5,54	185,42	1.028,01	7.035,73	7.002,39	-0,47
14	7.576,94	8.648,12	23,14	17,11	6,03	185,42	1.117,87	7.576,94	7.530,25	-0,62
15	8.118,15	9.265,85	24,64	18,12	6,51	185,42	1.207,90	8.118,15	8.057,95	-0,74
									Rata-rata absolut	0,76

Biaya *overhead* pada pekerjaan pondasi didasarkan hasil survei kepada 3 orang pimpinan pengembang perumahan di Yogyakarta (Tabel 6). Tiga orang responden memberikan nilai biaya *overhead* yang beragam, yang kemungkinan disebabkan oleh pengalaman responden terhadap beragamnya nilai proyek perumahan yang ditanganinya, sehingga nilai *overhead*-nya pun juga bervariasi.

Tabel 6. Perhitungan biaya *overhead* pada pekerjaan pondasi di Yogyakarta

Responden ke	Biaya <i>overhead</i> /hari (Rp ribu)
Responden-1	1.750,00
Responden-2	1.500,00
Responden-3	1.200,00
Rata-rata per hari	1.483,33
Rata-rata per jam	185,42

Berdasarkan pada ketentuan-ketentuan di atas, biaya total pekerjaan pondasi dapat dijabarkan sebagai dalam Tabel 5. Dapat dilihat bahwa biaya pekerjaan total pondasi blok beton pada volume pekerjaan yang kecil adalah lebih mahal dari pada material batu belah, namun akan mengalami titik impas pada volume pekerjaan 11 m³, sehingga penggunaan material blok beton akan efisien jika volume pekerjaannya lebih dari 11 m³. Namun demikian, selisih biaya total rata-rata antara kedua material pondasi tersebut hanyalah sangat kecil, yaitu sebesar 0,76%, seperti ditunjukkan dalam Kolom (11). Selisih biaya total pada volume pekerjaan 15 m³ adalah hanya 0,74%. Biaya total pekerjaan diuraikan di Gambar 5. Untuk memberikan gambaran biaya total pada pekerjaan pondasi di tempat lain, dua buah survei telah

dilaksanakan di Bekasi dan Surabaya kepada pimpinan pengembang perumahan untuk mengetahui besaran upah dan biaya *overhead*. Selain itu, data harga material dikumpulkan melalui media internet, yang mana harga semen di Bekasi dan Surabaya memiliki harga yang relatif sama dengan harga di Grogolan, Sleman. Data harga blok beton di Bekasi dan Surabaya dihitung dengan perkalian antara persentase kenaikan harga pasir dan upah di Bekasi dan Surabaya terhadap harga blok beton di Grogolan Sleman. Hasil investigasi ini disajikan dalam Tabel 7.

Data di Tabel 7 kemudian disusun dan dihitung sedemikian rupa seperti uraian di Tabel 5, sehingga diperoleh temuan bahwa biaya total pada volume pekerjaan 15 m³, biaya total pondasi blok beton adalah lebih efisien sebesar 0,74%, 0,26%, dan 0,37% masing-masing di Grogolan, Bekasi, dan Surabaya (Tabel 8).

Hasil pengamatan pekerjaan pondasi blok beton di Grogolan menghasilkan produktivitas kerja rata-rata adalah sebesar 0,799 m³/jam, sementara itu pada penelitian sebelumnya (Nuryanto & Winarno, 2021), pada pekerjaan pondasi pagar di Krandon dengan material blok beton yang sama menghasilkan produktivitas kerja rata-rata sebesar 0,792 m³/jam. Ada kecenderungan, personil tukang menjadi lebih terampil di Grogolan karena telah belajar di Krandon. Hal ini menunjukkan fakta bahwa pada pelaksanaan pondasi blok beton tersebut terdapat efek belajar sampai dengan volume pekerjaan sekitar 11 m³ untuk mencapai produktivitas maksimumnya.

Tabel 7. Hasil survey harga di Bekasi dan Surabaya

	Wilayah Bekasi			Wilayah Surabaya		
	Biaya upah tenaga kerja (Rp ribu/hari)			Biaya upah tenaga kerja (Rp ribu/hari)		
	Pekerja	Tukang	Mandor	Pekerja	Tukang	Mandor
Responden-1	150,00	200,00	300,00	110,00	155,00	265,00
Responden-2	165,00	190,00	280,00	115,00	150,00	250,00
Responden-3	150,00	210,00	325,00	120,00	150,00	260,00
Rata-rata	155,00	200,00	301,67	115,00	151,67	258,33
	Biaya <i>overhead</i> (Rp ribu/hari)			Biaya <i>overhead</i> (Rp ribu/hari)		
Responden-1	2.100,00			2.100,00		
Responden-2	2.300,00			2.000,00		
Responden-3	1.800,00			1.800,00		
Rata-rata	2.066,67			1.966,67		
Harga pasir (Rp)	260.000,00	per m ³		255.000,00	per m ³	
Harga abu batu (Rp)	260.000,00	per m ³		255.000,00	per m ³	
Harga batu belah (Rp)	2.000.000,00	per 7,5 m ³		1.950.000,00	per 7,5 m ³	
Harga blok beton (Rp)	7.700,00	per buah		7.300,00	per buah	
Harga semen (Rp)	45.000,00	per sak		45.000,00	per sak	

Tabel 8. Contoh selisih biaya total pondasi pada volume pekerjaan 15 m³

No	Wilayah	Biaya total (Rp ribu) pada volume pekerjaan 15 m ³		Selisih (%)
		Pondasi batu belah	Pondasi blok beton	
1	Grogolan, Sleman	8.118,15	8.057,95	0,74
2	Bekasi	12.486,61	12.453,84	0,26
3	Surabaya	11.361,96	11.319,90	0,37

Produktivitas rerata pekerjaan pondasi dangkal dengan blok beton dibandingkan dengan batu belah telah terjadi efisiensi waktu yang lebih cepat sebesar 35,44%. Sementara itu, biaya total penggunaan material blok beton tidak berbeda secara signifikan dengan batu belah karena nilai perbedaannya hanya di bawah 1%.

Pada volume kecil, pondasi batu belah lebih murah, dan terjadi titik impas pada volume pekerjaan sekitar 11 m³, sehingga penggunaan material blok beton akan efisien jika volume pekerjaannya lebih dari 11 m³. Usaha pengembang perumahan, pada umumnya, membangun rumah dalam jumlah yang cukup banyak sehingga kebutuhan volume pekerjaan pondasi dangkal juga cukup banyak, misalnya mencapai lebih dari 20 m³. Dengan demikian, pada volume yang banyak ini, penggunaan material blok beton untuk pekerjaan pondasi dangkal menjadi lebih efisien.

Adanya efisiensi waktu dan efisiensi biaya dari hasil hitungan di atas adalah bentuk manfaat nyata yang berwujud (*tangible benefits*) dan terukur secara kuantitatif. Untuk menggali manfaat yang tidak berwujud (*intangibile benefits*), sebuah FGD dilakukan untuk mengungkapkan tentang kelemahan dan manfaat yang tidak berwujud atas material blok beton. Hasil FGD menyatakan bahwa terdapat empat manfaat yang tidak berwujud terhadap implementasi material blok beton ini, dan hanya memiliki satu kelemahan.

Manfaat yang tidak berwujudnya adalah penghematan lahan penumpukan di lapangan, material sisa hanya sedikit, kemudahan pengerjaan, dan hasil pekerjaan menjadi lebih presisi. Sedangkan, kelemahannya adalah blok beton sering harus dipotong pada pemasangan di pojok-pojok pertemuan antara pondasi dengan kolom. Secara umum, temuan dalam penelitian ini mengungkapkan bahwa material blok beton memiliki efisiensi dan berkontribusi positif dalam hal biaya yang lebih murah dan waktu pengerjaan yang lebih cepat.

Kesimpulan

Dua material pondasi dangkal, yaitu blok beton dan batu belah telah diimplementasikan pada pekerjaan

pondasi dangkal di Grogolan Ngemplak Sleman. Produktivitas rerata pekerjaan pondasi dangkal dengan material blok beton adalah sebesar 0,799 m³/jam, dan pada material batu belah adalah sebesar 0,590 m³/jam, atau terdapat efisiensi waktu yang lebih cepat sebesar 35,44%. Secara umum, biaya pekerjaan total pada kedua material tersebut tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Apabila volume pekerjaannya di atas 11 m³ penggunaan blok beton menjadi lebih efisien. Selain kontribusi positif berupa efisiensi biaya yang lebih murah dan waktu pengerjaan yang lebih cepat, penggunaan material blok beton juga akan memiliki empat manfaat yang tidak berwujud (*intangibile benefits*), yaitu penghematan lahan, material sisa sedikit, kemudahan pekerjaan, dan hasil pekerjaan yang lebih presisi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia (UII) dan kepada staf di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi UII atas bantuan moril dan materiil yang telah diterima.

Daftar Pustaka

- Auzan, R., Rizky, D., Suharyanto, & Kistiany, F. (2017). Pengendalian Biaya dan Waktu Proyek dengan Metode Konsep Nilai Hasil (*Earned Value*). *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 6(4), 460–470.
- Brockmann, C., & Brezinski, H. (2015). Experience Curve Effects in Bridge Construction. *Procedia Economics and Finance*, 21, 563–570.
- Dysert, L. R. (2001). Developing a Parametric Model for Estimating Process Control Costs. *Cost Engineering*, 43, 2.
- Fauzi, M. (2009). Analisis Pembuatan Pondasi Rumah Permanen Terhadap Konsep "Rumah Tahan Gempa" Di Kabupaten Bengkulu Utara dan Bengkulu Tengah. *Jurnal Teknik Sipil Inersia*, 1(1), 1–6.
- Harijanti, D. (2016). *Pasir Langka, Ongkos Konstruksi di Jawa Timur Naik: Vol. 1 10*. <https://ekonomi.bisnis.com/read/20160110/45/508>

559/pasir-langka-ongkos-konstruksi-di-jawa-timur-meningkat

Jarkas, A. M. (2010). Analysis and Measurement of Buildability Factors Affecting Edge Formwork. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 3(1), 142–150.

Khanh, H.D., Kim, S.Y., Khoa, N.V., & Tu, N.T. (2021). The Relationship between Workers' Experience and Productivity: A Case Study of Brick Masonry. *International Journal of Construction Management*, Vol 21 Issue 3, 2021.

Kerzner, H. (2003). *A System Approach to Planning, Scheduling, and Controlling* (8th ed.). John Wiley & Sons, Inc.

Kim, J., Golabchi, A., Han, S., & Lee, D. (2021). Manual Operation Simulation Using Motion-Time Analysis Toward Labor Productivity Estimation: A Case Study of Concrete Pouring Operations. *Automation in Construction*, 126 (2021) 103669.

Li, Y., Yang, X., & Yang, Z. (2019). Uncertain Learning Curve and Its Application in Scheduling. *Computers & Industrial Engineering*, 131, 534–541.

Mályusz, L., & Pém, A. (2014). Predicting Future Performance by Learning Curves. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 119, 368–376.

Mályusz, L., & Pém, A. (2013). Prediction of the Learning Curve in Roof Insulation. *Automation in Construction*, 36, 191–195.

Nuryanto, H., & Winarno, S. (2021). Kurva Belajar pada Pekerjaan Fondasi Dangkal yang Menggunakan Material Blok Beton. *Simposium Nasional Teknologi Infrastruktur (SNTI) Abad 21*, 231–236.

Ostwald, P. F., & McLaren, T. S. (2003). *Cost Estimating for Engineering and Management*. Prentice-Hall.

Panas, P. & Pantouvakis J.P. (2018). On the Use of Learning Curves for the Estimation of Construction Productivity, *International Journal of Construction Management* Vol 18 No 4, pp 301-309.

Phaobunjong, K. (2002). *Parametric Cost Estimating Model for Conceptual Cost Estimating*

of Building Construction Projects. The University of Texas at Austin.

Pramono, W. A., Winarno, S., & Teguh, M. (2020). Pengaruh Penambahan Sekam Padi sebagai Agregat Halus terhadap Karakteristik Batako. *Civil Engineering Environmental and Disaster Risk Management Symposium*, 360–366.

Rajapakse, R. (2016) *Geotechnical Engineering Calculations and Rules of Thumb*. Elsevier Inc.

Soekiman, A., Pribadi, K.S., Soemardi, B.W., & Wirahadikusumah, R.D. (2011). Study on Factor Affecting Project Level Productivity in Indonesia. *Annals of Faculty Engineering Hunedoara-International Journal of Engineering*.

Sumarningsih, T. (2014). Pengaruh Kerja Lembur pada Produktivitas Tenaga Konstruksi. *Media Komunikasi Teknik Sipil*. Vol. 20 No 1, pp 63-69.

Winarno, S., Nugraheni, F., & Rudatin, A. (2015). Inovasi Tandon Air Beton Pracetak: Karakteristik Teknis dan Kelayakan Ekonomi. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 12(1), 13–21.

Winarno, S. (2018a). *Metode Pembuatan Pelat Beton Pracetak dengan Tambahan Abu Batu untuk Tandon Air yang Kedap Air* (Patent No. IDP000063251).

Winarno, S. (2018b). Comparative Strength and Cost of Rice Husk Concrete Block. *5th International Conference on Sustainable Built Environment, Management of Changes for Livable Environment*, MATEC Web of Conferences 280, <https://doi.org/10.1051/mateconf/201928004002>

Winarno, S. (2021). Preliminary Study on Hand-cast Lightweight Concrete Block using Raw Rice Husk as Aggregate. *6th International Conference on Sustainable Built Environment, Sustainable Environment Infrastructure for Smart Cities. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **933** 012005, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/933/1/012005>

Wong, P., Cheung, S., & Hartcastle, C. (2007). Embodying Learning Effect in Performance Prediction. *Journal of Construction Engineering and Management - ASCE*, 474–482.