



Seminar Nasional Keinsinyuran (SNIP)

Alamat Prosiding: snip.eng.unila.ac.id



Penerapan Metode Konstruksi Industri 4.0 Pada Siklus Proyek Jalan, Jembatan, dan Terowongan

N Ilmi^a, I Sukmana^b, A Purba^b

^a PT. Lantera Sejahtera Indonesia, Lantai 18, Ratu Plaza, Jl. Jenderal Sudirman, RT.1/RW.3, Gelora, Tanah Abang, Central Jakarta City, Jakarta 10270

^b Program Profesi Insinyur, Universitas Lampung, Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

INFORMASI ARTIKEL

Diterima 02 Maret 2022.
Direvisi 16 Maret 2022.
Diterbitkan 24 April 2022.

Kata kunci:
Industri 4.0, Digitalisasi,
Konstruksi, BIM.

ABSTRAK

Konstruksi 4.0 merupakan salah satu bagian Industri 4.0, dengan kata lain dunia konstruksi juga harus bergerak maju dengan melakukan sebanyak mungkin digitalisasi untuk mempermudah kita dalam sebuah proyek. Permasalahan yang masih ada dari dulu yakni jumlah tenaga kerja yang banyak dan biaya yang besar dapat diselesaikan dengan melakukan digitalisasi pada konstruksi 4.0. Dengan adanya perangkat-perangkat digital yang ada pada jurnal ini, diharapkan pekerjaan jalan, jembatan dan terowongan dapat memakan biaya yang lebih kecil dengan tenaga kerja yang juga lebih sedikit. Building Information Modeling (BIM) merupakan salah satu inovasi untuk terwujudnya penerapan Konstruksi 4.0. Kemajuan teknologi dan ilmu tidak hanya dirasakan dimasa saat ini kita juga harus mempersiapkan diri dan berinovasi dalam mengembangkan dunia konstruksi untuk menjalankannya serta siap memasuki dunia Industri 4.0 dalam jangka pendek (1-2 tahun), jangka menengah (3-6 tahun) dan jangka Panjang (7-10 tahun). Sebagai anak muda yang masih mempunyai banyak waktu dan tenaga untuk bisa terus mengembangkan bakat dan minat, terlebih dibidang konstruksi sehingga bila mana nantinya Industri 4.0 masuk ke Indonesia secara cepat, kita tidak kalah bersaing dengan tenaga ahli dari luar negeri.

1. Pendahuluan

Pada kurang lebih 50 tahun terakhir perusahaan konstruksi masih bergantung kepada manual *labor*, *heavy machinery*, dan model bisnis yang sama, sudah saatnya kita sebagai generasi berikutnya dalam dunia konstruksi harus menerapkan metodologi dan peralatan yang berbeda dalam mengerjakan pekerjaan kita guna menghemat biaya dan waktu. Industri 4.0 merupakan fase baru dalam revolusi industri yang berfokus kepada interkoneksi (Despa, 2020), automasi, *machine learning* dan *real-time* data. Seiring berkembangnya jaman yang menuntut inovasi di segala bidang termasuk di dunia konstruksi yang terus berinovasi dengan ditemukannya berbagai metode dalam perencanaan yang salah satunya

BIM (*Building Information Modeling*) merupakan sebuah pendekatan untuk desain bangunan, konstruksi, dan manajemen proyek. Ruang lingkup BIM ini mendukung dari desain proyek, jadwal, dan informasi-informasi lainnya secara terkoordinasi dengan baik (Azhar, Khalfan, and Maqsood 2012). BIM memberikan potensi untuk memodelkan informasi virtual dalam sebuah model tunggal yang menawarkan visualisasi, deteksi benturan, fase konstruksi, estimasi biaya dan bahan-bahan serta pengujian model untuk diserahkan dari tim desain (arsitek, surveyor, insinyur konsultasi, dan lain-lain) kepada kontraktor dan sub-kontraktor dan kemudian ke pemiliknya. Salah satu penghambat perekonomian di Indonesia ini adalah lambatnya pembangunan infrastruktur seperti infrastruktur jalan. Jurnal ini akan menjelaskan bagaimana proses pengerjaan suatu jalan, jembatan, dan terowongan dengan menggunakan metodologi dan peralatan digital yang ada pada konstruksi 4.0, pekerjaan yang dikerjakan yakni jalan beraspal antar provinsi dengan 4 lajur dengan panjang 30 km yang melewati lembah dan bukit serta 2 jembatan dan 1 terowongan.

Permasalahan yang masih ada dari dulu yakni jumlah tenaga kerja yang banyak dan biaya yang besar dapat diselesaikan dengan melakukan digitalisasi pada konstruksi 4.0. Dengan

*Penulis korespondensi.

E-mail: nasharal.ildi@gmail.com

adalah
konsep

BIM (*Building Information Modeling*).

adanya perangkat-perangkat digital (Sulistiono, 2017) yang ada diharapkan pekerjaan jalan antar provinsi, jembatan dan terowongan dapat memakan biaya yang lebih kecil dengan tenaga kerja yang juga lebih sedikit.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perangkat digital yang dibutuhkan serta kelebihan, kekurangan dan cara operasioannya dalam pengembangan proyek jalan antar provinsi, jembatan, dan terowongan serta dapat menjawab rencana apa sebagai insinyur muda dalam masa depan nanti.

2. Hasil dan Pembahasan

A. Survey dan Mapping

Survey and mapping merupakan titik awal untuk menentukan secara kasar bahwa proyek yang akan kita jalankan , sehingga pembagiannya akan menjadi 3 secara garis besar yaitu *engineering, cost, dan time*. Masing – masing bidang akan dibagi lagi menjadi bagian yang lebih terperinci. Berikut adalah gambaran dari survey and mapping menggunakan flowchart.



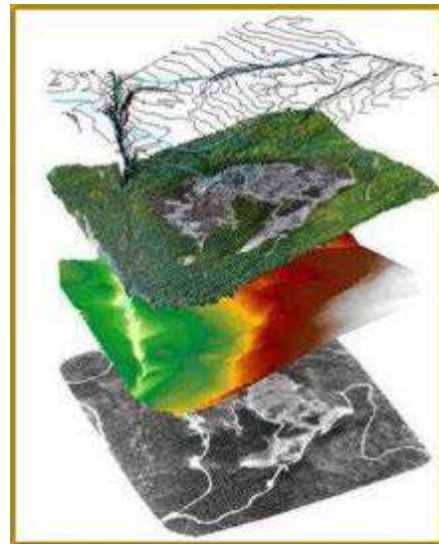
Gambar 1. Flow Survey and Mapping

Survei topografi adalah suatu metode untuk menentukan tanda – tanda buatan manusia maupun alamiah diatas permukaan tanah. Survei topografi juga digunakan untuk menentukan konfigurasi medan (*terrain*).

Kegunaan survei topografi adalah untuk mengumpulkan data yang diperlukan untuk gambar peta topografi. Dengan menggunakan bantuan alat yang sudah ada maka akan mempermudah pekerjaan kita dalam melakukan survei topografi.



Gambar 2. Ilustrasi Mapping Drone

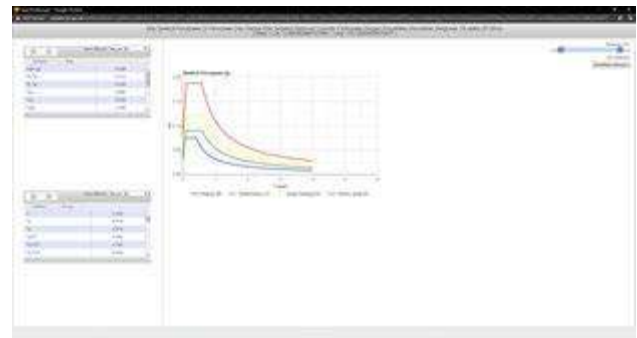


Gambar 3. Ilustrasi Hasil 3D Scanning Menggunakan Drone

Dahulu menggunakan pesawat kecil atau menggunakan helikopter tetapi seiring berjalannya waktu dan berkembangnya teknologi maka sekarang alat yang digunakan adalah drone dengan contoh LiDar Drone. Kelebihan dari alat ini antara lain harga lebih murah dibandingkan dengan konvensional atau sekalipun dengan menggunakan pesawat atau helikopter; memakan waktu yang lebih sedikit dibandingkan dengan cara konvensional; bisa langsung membuat 3D modeling dengan software yang ada; orang lain selain pilot drone tersebut bisa melihat secara langsung proses dari pengambilan gambar/ data. Namun pasti mempunyai kekurangan antara lain: masih memerlukan pilot untuk mengendalikan.

Selanjutnya pada tahapan penyelidikan tanah dilakukan ada beberapa metode yaitu deep boring, *Standard Penetration Test (SPT)*, Sondir Test dan uji tanah laboratorium. Kegiatan di lapangan menggunakan robot untuk melakukan penyelidikan tanah masih belum ada, sehingga masih dilakukan secara konvensional yaitu dengan melakukan tes sondir dan deep boring di lapangan oleh para pekerja.

Pada tahapan survey data dibutuhkan untuk melakukan desain awal yang digunakan untuk studi kelayakan dari proyek . Dalam proyek ini data – data yang dibutuhkan adalah gempa bumi, kecepatan angin, curah hujan, dan laju harian rata-rata (LHR). Dengan menggunakan *platform* di negara kita yang bisa memberikan data-data tersebut maka akan kita gunakan dengan baik. Misalnya data gempa bumi bisa diakses menggunakan data dari puskim.pu.go.id berupa file output grafik repon spektrum.



Gambar 4. Data Respon Spektrum

Sedangkan untuk data lainnya seperti kecepatan angin, curah hujan di situs dataonline.bmkg.go.id dan laju harian rata-rata (LHR) bisa diakses di situs terkait missal untuk daerah Surabaya dishub.surabaya.go.id.

Perhitungan biaya pada Survei dan pemetaan adalah *pre-estimate cost* yaitu perhitungan biaya yang dibutuhkan untuk menjalankan proyek tersebut tetapi masih secara garis besar dengan tingkat akurasi yang kurang besar (Sulisitiono, 2021) dikarenakan desain belum sampai detail sekali, sehingga nantinya akan dilakukan lagi perhitungan biaya secara mendetail setelah mendapatkan desain akhir yang akan dilelangkan. Sehingga pada tahapan baiaya akan dibagi 2 yaitu *budgeting* dan *feasibility study*. Pada *budgeting* penentuan volume pekerjaan akan digunakan software Autodesk Civil 3D dengan input data-data kontur topografi untuk menghasilkan volume galian dan timbunan. Namun Pada tahapan studi kelayakan (*feasibility study*) akan ditinjau juga dari segi ekonomi, sehingga apakah proyek ini dapat dijalankan atau tidak

Seluruh dokumen harus dalam Times New Roman atau Times font. Type font tidak boleh digunakan. Jenis font lain dapat digunakan jika diperlukan untuk tujuan khusus. Khusus untuk alamat email menggunakan type font curirer new. Fitur ukuran font terlihat pada Tabel 1.

B. Desain

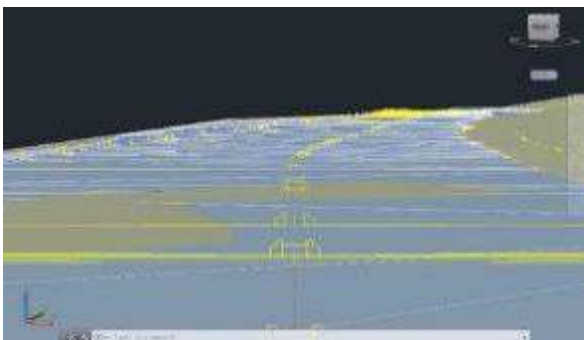
Tahap perencanaan Teknik Jalan meliputi:

- Perencanaan geometrik, meliputi jarak pandang dan perencanaan alinyemen horizontal dan vertikal.
- Geoteknik dan Material jalan, menguraikan pengolahan data geoteknik dan material untuk keperluan konstruksi perkerasan dan drainase jalan.
- Perencanaan perkerasan jalan, meliputi perkerasan lentur dan kaku.
- Perkiraan biaya, meliputi perhitungan kuantitas dan analisis harga satuan.
- Lampiran, table-tabel dan ketentuan lain yang dapat digunakan untuk perhitungan.

Untuk mendapatkan nilai perencanaan yang optimal, alangkah baiknya menggunakan perangkat lunak perencanaan jalan Autodesk Civil3D agar dalam memproduksi desain sebuah jalan dan terowongan, master plan, infrastruktur dengan detail, akurat dan efisien dalam waktu yang lebih singkat.

Dalam perencanaan geometri jalan, digunakan alat ukur berupa theodolit, waterpass, pita ukur, kompas, GPS dan alat pendukung lainnya.

Salah satu keunggulan dari Autodesk Civil 3D sebagai perangkat lunak berbasis BIM dapat melakukan Driving Simulation untuk melihat seakan-akan bagaimana jika kita berkendara di Jalan yang sudah kita design.



Gambar 5. Road Driving

Autodesk Civil 3D dapat mengeluarkan Volume dari desain pekerjaan yang telah dibuat untuk mempermudah perhitungan Rincian Anggaran Biaya pekerjaan.

Volume Report

Project: G:\Construction Project\Bogeg Bridge\Bogeg civ.3d\Lebar Jalannya 15m (Alternatif Lain Lagi).dwg
 Alignment: Alignment - Jalan Existing
 Sample Line Group: SL Collection - 2
 Start Sta: 0+025.000
 End Sta: 0+500.000

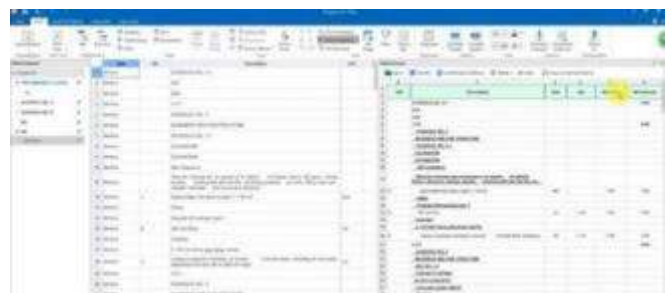
Station	Cut Area (Sq.m.)	Cut Volume (Cu.m.)	Reusable Volume (Cu.m.)	Fill Area (Sq.m.)	Fill Volume (Cu.m.)	Cum. Cut Vol. (Cu.m.)	Cum. Reusable Vol. (Cu.m.)	Cum. Fill Vol. (Cu.m.)	Cum. Net Vol. (Cu.m.)
0+025.000	1.30	0.00	0.00	6.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0+050.000	3.62	61.57	61.57	10.99	213.43	61.57	61.57	213.43	-151.85
0+055.000	4.51	17.61	17.61	10.53	54.35	79.18	79.18	267.77	-188.59
0+060.000	5.15	20.83	20.83	10.60	53.20	100.00	100.00	321.07	-221.07
0+065.000	5.80	23.52	23.52	11.05	54.77	123.53	123.53	375.85	-252.32
0+070.000	6.44	26.19	26.19	11.89	58.27	149.72	149.72	434.11	-284.39
0+075.000	7.52	29.78	29.78	12.96	63.43	179.50	179.50	497.55	-318.05
0+100.000	10.13	216.17	216.17	18.38	393.86	393.67	393.67	891.41	-495.74
0+125.000	9.89	250.29	250.29	32.00	629.74	645.96	645.96	1521.15	-875.19
0+130.000	9.90	247.38	247.38	42.95	936.92	893.34	893.34	2458.07	-1564.72
0+175.000	1.76	145.67	145.67	60.78	1296.39	1039.01	1039.01	3754.46	-2715.44
0+200.000	0.00	21.95	21.95	69.84	1632.51	1060.96	1060.96	5386.97	-4326.01
0+225.000	0.00	0.00	0.00	60.50	1629.35	1060.96	1060.96	7016.32	-5955.36
0+250.000	0.22	2.81	2.81	21.26	1022.06	1063.77	1063.77	8038.38	-6974.61
0+275.000	4.93	84.45	84.45	0.28	269.21	1128.23	1128.23	8307.59	-7179.37
0+300.000	1.63	82.04	82.04	1.29	19.62	1210.27	1210.27	8327.21	-7116.95
0+325.000	1.80	42.84	42.84	0.13	17.81	1253.11	1253.11	8345.02	-7091.91
0+350.000	3.75	69.30	69.30	0.00	1.72	1322.41	1322.41	8346.74	-7024.23
0+375.000	2.69	80.49	80.49	0.03	0.39	1403.90	1402.90	8347.13	-6944.23
0+400.000	0.00	33.64	33.64	2.48	31.30	1436.54	1436.54	8378.43	-6941.89
0+425.000	0.00	0.00	0.00	1.96	55.49	1436.54	1436.54	8433.92	-6997.38
0+450.000	0.00	0.00	0.00	1.02	48.56	1436.54	1436.54	8482.48	-7045.04
0+475.000	0.00	0.00	0.00	2.64	57.05	1436.55	1436.55	8539.53	-7102.98
0+500.000	0.00	0.00	0.00	1.07	46.33	1436.55	1436.55	8585.85	-7149.30

Gambar 6. CIVIL3D Volume Report

Namun aplikasi ini mempunyai kekurangan antara lain: Infrastruktur pendukungnya harus memadai seperti penggunaan printer atau plotter untuk mencetak gambar dalam ukuran yang besar.

Salah satu hal penting dalam pembuatan proposal proyek adalah estimasi dan penganggaran. Perkiraan biaya digunakan untuk menyusun anggaran dan menjadi dasar untuk mengevaluasi performa proyek. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan tingkat pengeluaran aktual dengan tingkat pengeluaran yang dianggarkan. Untuk membuat, menghitung, menganalisa dan membuat laporan BoQ dan Keuangan maka diperlukan perangkat lunak yang akan memudahkan pekerjaan sehingga efisien seperti Microsoft Excel dan Cubicost TBQ.

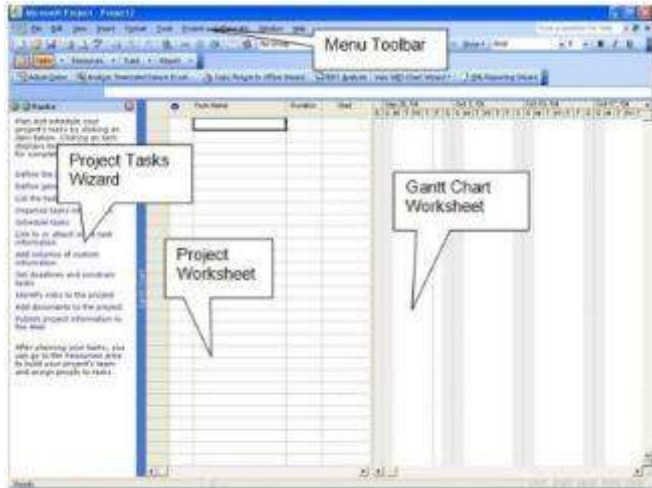
Data-data yang diperlukan pada estimasi biaya adalah total volume pekerjaan yang didapatkan oleh perangkat lunak Autodesk Civil 3D. Dari total volume itu dapat dikalikan dengan Analisa harga satuan dan menjadi *Bill of Quantity*.



Gambar 7. Cubicost TBQ

Fase Desain: Penjadwalan & Kontrol dilakukan penjadwalan dan pengendalian proyek maka diperlukan perangkat lunak manajemen proyek seperti Microsoft Project dan Oracle Primavera, hal ini bertujuan untuk penggunaan platform atau sistem manajemen proyek yang efektif & seragam,

menghilangkan duplikasi informasi & data entri, menurunkan ketergantungan terhadap *spreadsheet*, memudahkan pembuatan laporan konsolidasi yang dapat mempermudah komunikasi antara staf/ karyawan. Untuk melakukan pengendalian maka dibutuhkan data BoQ dari perangkat lunak Microsoft Excel dan Cubicost TBQ dan menghasilkan data Perencanaan, Penjadwalan, serta laporan keuangan proyek..



Gambar 8. Microsoft Project

Fase Desain: Arsitektur dalam pekerjaan infrastruktur terdapat perangkat lunak khusus untuk mempresentasikan pekerjaan seperti Autodesk Infracore. Autodesk Infracore merupakan produk perangkat lunak desain infrastruktur (jalan, jembatan, grading, dan sebagainya) di tahap konseptual ataupun *preliminary design*. Infracore juga sangat baik untuk menampilkan desain secara visual.



Gambar 9. Autodesk Infracore Jembatan

Fase Desain: Desain Struktur & MEP jembatan beton diperlukan perangkat lunak Autodesk Revit. Dengan menggunakan perangkat lunak ini, penggunaan SDM seperti drafter struktur, arsitektur, MEP bisa ditangani hanya dengan satu orang. Autodesk Revit menghasilkan data-data seperti:

1. Shop Drawing, Section, Detail Drawing (2D)
2. Picture (3D) dan Animasi Video
3. Mengeluarkan Laporan Volume pekerjaan

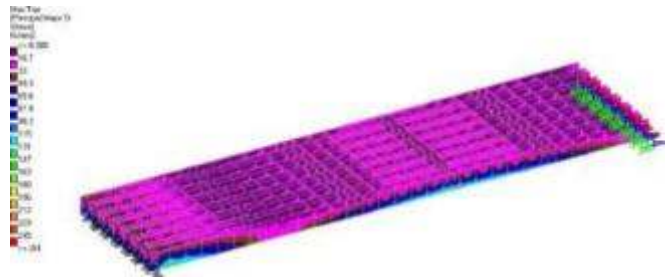


Gambar 10. Autodesk Revit Jembatan 3D

Fase Desain: Desain Struktur & MEP jembatan beton diperlukan perangkat lunak TEKLA agar desain jembatan bisa lebih efisien, salah satu kelebihan TEKLA dibanding Revit adalah fitur detailingnya yang lebih lengkap. Fitur otomatis dan dilengkapi dengan banyak fitur unik untuk desain material beton dan baja. Bentley Tekla menghasilkan data-data seperti:

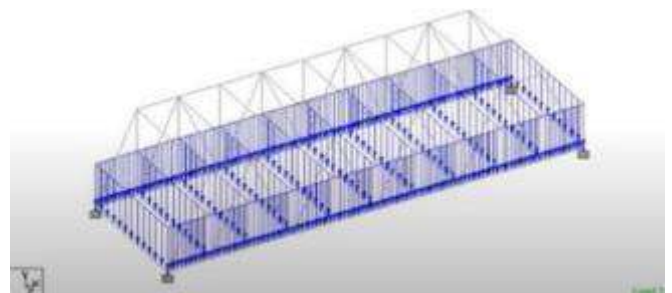
1. Shop Drawing, Section, Detail Drawing (2D)
2. Drawing (3D) dan Animasi Video
3. Mengeluarkan Laporan Volume pekerjaan (*Material Take-off*)

Fase Desain: Desain Analisa Struktur untuk Jembatan beton diperlukan perangkat lunak *Modeling Integrated Design & Analysis Structure* (MIDAS).



Gambar 11. Midas Tegangan Maksimum

Fase Desain: Desain Analisa Struktur untuk Jembatan baja diperlukan perangkat lunak STAAD (*Structural Analysis And Design*)



Gambar 12. Staad Pro Moment

C. Pre-Construction dan Procurement

Dalam pembahasan ini akan dijelaskan mengenai proses pengembangan metode industri 4.0 yang mana posisi proses konstruksi sudah dimenangkan pada kontraktor dan berada pada bagian Pre-Construction dan Procurement sebagai berikut.

1) Pre-Construction Meeting (PCM)

Merupakan pertemuan yang diselenggarakan oleh unsur-unsur yang terkait dengan pelaksanaan kegiatan seperti pihak

Owner (Pemberi Pekerjaan) , penyedia jasa sebagai pelaksana pekerjaan (kontraktor) , wakil masyarakat setempat dan instansi terkait untuk menyamakan persepsi pada seluruh dokumen kontrak dan membuat kesepakatan tersebut hal-hal penting yang belum terdapat dalam dokumen kontrak maupun kemungkinan-kemungkinan kendala yang akan terjadi dalam pelaksanaan pekerjaan Berikut upaya pengembangan dalam bidang *Pre-Construction Meeting* (PCM) adalah melakukan Virtual Meeting. Rapat secara virtual baru – baru ini sangatlah menjadi trend dalam kondisi saat ini. Bukan hanya di Indonesia namun seluruh dunia telah merubah kegiatan rapat konvensional menjadi rapat secara virtual (Zulmiftahul, 2020). Salah satu platform asal China yang sering dipakai adalah Zoom Meeting dimana Virtual Meeting tersebut mempertemukan banyak orang dalam satu waktu sehingga kegiatan setiap individu tetap terlaksana walaupun sedang melakukan Virtual Meeting.



Gambar 13. Zoom Meeting
Sumber: <https://infokomputer.grid.id>

Augmented Reality (AR) adalah sebuah istilah untuk lingkungan yang menggabungkan dunia nyata dan dunia virtual yang dibuat oleh komputer sehingga batas antara keduanya menjadi sangat tipis. Sistem ini lebih dekat kepada lingkungan nyata “real” karena itu, reality lebih diutamakan pada sistem ini “Brian, 2012”.

AR merupakan variasi dari Virtual Environments (VE), atau yang lebih dikenal dengan istilah Virtual Reality (VR). Teknologi VR membuat pengguna tergabung dalam sebuah lingkungan virtual secara keseluruhan.



Gambar 14. Zoom Meeting
Sumber : <https://www.kajianpustaka.com/>

Dalam tahapan *Augmented Reality* dapat menggunakan Platform Microsoft HoloLens yang merupakan pengembangan *Mix Realty* dari VR dan AR. HoloLens memanfaatkan teknologi hologram untuk menyatukan lingkungan digital dengan lingkungan nyata. Lingkungan baru yang dihasilkan disebut

sebagai *mixed reality* (MR) memungkinkan kita untuk memvisualisasikan obyek digital seolah-olah obyek itu benar-benar ada di hadapan kita, lalu berinteraksi dengannya. Serta dapat diintegrasikan dengan Cubicost serta perangkat lainnya seperti SkechUp Viewer dan sejenisnya.



Gambar 15. Microsoft HoloLens di Bidang Konstruksi
Sumber : <https://www.kajianpustaka.com/>

Signature Digital merupakan salah satu teknik yang dapat digunakan untuk menjaga keaslian data, sehingga penerima mendapatkan jaminan untuk mengetahui bahwa data yang diterima merupakan data asli atau data palsu. Teknik ini dapat mencegah terjadinya penggunaan data palsu oleh penerima data. Setiap data yang diterima memiliki tanda tangan yang selalu berbeda dengan data lainnya, sehingga sedikit saja modifikasi yang dilakukan akan menyebabkan tanda tangan yang berubah sangat drastis. (R. Kaur dkk,2022).

Dalam Penggunaan *Signature Digital* merekomendasikan aplikasi karya negeri yaitu Privyid. Penyedia layanan tanda tangan digital yang akan memudahkan proses penandatanganan dokumen-dokumen Anda secara digital untuk menghemat biaya, waktu, dan terjamin keamanan datanya. Berikut kelebihan dan kekurangan Privyid.



Gambar 16. Penggunaan Signature Digital menggunakan Privyid

2) *Procurement*

Proses E-Tendering yang terintegrasi dari Cubicost TBQ (E-Tender) dengan SAP Hana (*Purchase Order, Good Receipt, Progress, BK, Transaksi Invoice*) sebagai fungsi pengatur tagihan dengan penyambung Apps yaitu HokuApps. Berikut singkatnya dimulai dari Platform Cubicost TBQ (*Take-off Bill of Quantities*).



Gambar 17. Alur kerja Platform Cubicost

Menindaklanjuti pola perkembangan jaman, beberapa platform yang dilaksanakan dalam kegiatan *Pre-Construction & Procurement*, maka penulis menilai sangatlah perlu Konsep Pengembangan *Pre-Construction & Procurement* yang akan dibagi menjadi 3 waktu tertentu Jangka Pendek (2 th), Jangka Menengah (3-6 th), dan Jangka Panjang (7-10 th) sebagai berikut:

Tabel 1. Pengembangan Pre-Construction & Procurement

Kegiatan	Waktu Pengembangan		
	Jangka Pendek (2 th)	Jangka Menengah (3-6 th)	Jangka Panjang (7-10 th)
Pre-Construction	Melaksanakan konsep pelaksanaan PCM tidak perlu bertemu langsung.	Menggabungkan atau mengintegrasikan beberapa platform (Zoom, HoloLens dan Privyid) menjadi Satu Platform sehingga lebih efisien.	Mengembangkan platform untuk PCM sesuai dengan perkembangan jaman kedepannya.
Procurement	Melaksanakan proses tender material secara online hingga tanda tangan kerjasama.	Menggabungkan beberapa platform (Cubicost TBQ & SAP) menjadi Satu Platform sehingga lebih efisien.	Mengembangkan platform untuk Procurement sesuai dengan perkembangan jaman kedepannya.

D. Construction

Pada tahap ini dibagi menjadi 2 yaitu tahap dokumen dan metode kerja.

1) Tahap Dokumen

Pada tahap dokumen, software yang digunakan 3 macam yaitu: BIM 360, Vico Office, SAP Hana

2) Pada tahap pekerjaan dilapangan

Pekerjaan tanah ialah pekerjaan awal dari sebuah pekerjaan jalan raya. *Cut* dan *Fill* adalah suatu proses pengerjaan tanah dimana sejumlah material tanah diambil dari suatu tempat kemudian diurug atau ditimbun di tempat lain. Pada tahap ini kita membutuhkan alat berat seperti Bulldozer dan *Excavator*.

Namun, dengan berkembangnya teknologi sebuah perusahaan dari San Francisco, California yaitu Built Robotics membuat inovasi menggabungkan atau mengintegrasikan teknologi perangkat keras seperti Lidar, GPS dan WiFi pada alat berat konvensional atau *excavator* ini untuk dapat memetakan dan navigasi lingkungan sekitarnya secara mandiri. *Built Robotics* mengadopsi konsep dan teknologi yang digunakan untuk membuat mobil kemudi otomatis (*self-driving*), dan mengadaptasinya ke dunia konstruksi.



Gambar 18. Excavator dari Built Robotics



Gambar 19. Bulldozer dari Built Robotics

Terowongan adalah sebuah tembusan di bawah permukaan tanah atau gunung. Terowongan umumnya tertutup di seluruh sisi kecuali di kedua ujungnya yang terbuka pada lingkungan luar. Beberapa ahli teknik sipil mendefinisikan terowongan sebagai sebuah tembusan di bawah permukaan yang memiliki panjang minimal 0.1 mil (0,1609 km), dan yang lebih pendek dari itu lebih pantas disebut underpas.

Pada konstruksi terowongan banyak sekali metode atau teknik-teknik yang digunakan untuk membuat terowongan. Pada saat ini akan dibahas tentang TBM atau *Tunnel Boring Machine*.



Gambar 20. Tunnel Boring Machine

Selanjutnya pada *slab* (pelat lantai) mesin penghampar jenis beton ini merupakan satu unit mesin yang mempunyai fungsi menghampar, meratakan, memadatkan dan membentuk perkerasan sekaligus memberi arah dan mengatur elevasi sesuai kebutuhan dalam sekali gerak maju.

Mesin jenis acuan bergerak (*Slipform Concrete Paver*) mempunyai lebar minimum 4.0 m yang bertumpu pada 4 (empat) roda kelabang (*crawler track*), dilengkapi sensor arah gerak (*steering sensor*), sensor elevasi (*level control sensors*) masing-masing di depan dan di belakang pada kedua sisi, dan sensor kelandaian – kemiringan (*slope sensor*). Semua sensor ini dikendalikan secara otomatis dengan komputer (*computerized control*).



Gambar 21. Alat Mesin Slipform Concrete Paver

Pada pekerjaan aspal menggunakan alat Asphalt Paver. Hampir sama dengan Concrete Paver, aspal dimasukkan ke dalam hopper. Kemudian *Gate* atau pintu berada pada ujung atau sisi belakang *hopper* mengatur jumlah aspal panas yang akan dikirim ke *auger*. Kemudian, *auger* ini material aspal panas akan didorong/ dituangkan dari tengah ke arah luar, selebar batas pengaspalan. Di tahap akhir, *screed* disediakan untuk pemadatan dan finishing permukaan aspal panas yang dituangkan oleh *screed*/ ulir (*auger*).



Gambar 22. Alat Asphalt Paver

Sebuah perusahaan di Belarus, Brest, Eropa mengembangkan *Road Marking Machine* dengan sistem otomatis atau *self-driving*. Alat ini dinamakan *Road Marking Machine* “Kontur 700 TPK”. Mesin ini dirancang untuk marka jalan raya horizontal ke jalan aspal maupun dengan termoplastik moder dan komponen cat marka.



Gambar 23. Pekerjaan Marka dengan Alat *Road Marking Machine* Kontur 700 TPK

E. Operation and maintenance

Operation dan *maintenance* terbagi menjadi *maintenance* jalan, *maintenance* jembatan dan *facility management* (Hariman, Christady H., and Triwiyono 2007) . Berikut merupakan beberapa alternative yang digunakan dalam konstruksi 4.0 dalam melakukan *operation* dan *maintenance*.

1) Mobileye

Mobileye merupakan perusahaan anak intel yang berasal dari Israel, dan sudah melakukan banyak kerjasama dengan berbagai pihak seperti perusahaan-perusahaan terkenal, contohnya seperti BMW dan Tesla. Mobileye merupakan ADAS (*Advance Driver Assistance System*), ADAS adalah system yang membantu pengguna jalan agar dapat menempuh perjalanan dengan aman dan nyaman. Data yang dikumpulkan oleh kendaraan yang dilengkapi oleh software Mobileye antara lain: *road markings, road slope, traffic signs, potholes, road cracking, traffic flow, near-miss incident, harsh braking, harsh cornering ratio*.



Gambar 24. Ilustrasi Mobileye pada mobil

Walaupun peralatan ini merupakan camera based, video yang ditangkap tidak direkam dalam cloud (Nama, 2018) namun melalui computer vision technology, sistem akan menangkap data yang dibutuhkan melalui video tersebut dan kemudian menyimpannya di *cloud*, data ini kemudian di konversi dalam bentuk file yang *compatible* dengan GIS. Peralatan ini dapat tergolong pilar big data dan *cloud computing* dan berhubungan dengan pilar yang bertugas untuk memperbaiki jalan.

2) Road Maintenance Software

Road maintenance software atau biasa disebut RMS merupakan karya perusahaan *Global Road Technology* (GRT). Software merupakan *real time data management system* yang

berguna untuk memproses data yang dikumpulkan dan dibutuhkan oleh penggunanya, software ini dapat mengidentifikasi *structural stability* dan *surface condition* (Zulkifli 2010).



Gambar 25. Drone Road Maintenance Software

GRT dapat tergolong pilar big data dan cloud computing, GRT juga sudah memiliki cabang di Indonesia namun belum ada tanda-tanda penggunaan software ini di Indonesia.

Kelebihannya adalah dapat memantau *Near real time condition* dan aksesibilitas datanya jauh lebih mudah karena dapat diakses dengan menggunakan *browser*. Kelemahannya adalah untuk jalan antar provinsi mungkin akan dibutuhkan lebih dari satu *drone* karena panjang jalan yang jauh, jika hanya menggunakan satu drone, maka pekerjaan yang dilakukan akan jauh lebih lama dibanding dengan menggunakan banyak *drone*.

3) *Python 5000 Pothole Patcher*

Python 5000 Pothole Patcher merupakan mesin yang sudah digunakan pada *North America* dan *Eropa*. *Python 5000* adalah mesin penambal lubang berlubang yang akan menghemat uang sekaligus menjaga jalan dan jalan tetap terpelihara dengan baik.



Gambar 26. Python 5000 Pothole Patcher

Kekurangannya alat ini adalah pekerjaan menggunakan alat ini dianggap kurang rapi dibandingkan dengan penambalan jalan dengan menggunakan lebih dari satu orang dan tidak dapat dilakukan dari jarak jauh. Mesin ini dapat digolongkan sebagai pilar *autonomous robot*. Hubungannya dengan pilar lain adalah melalui pengumpulan data yang dilakukan oleh software-software seperti *Mobileye* dan *RMS*, mesin ini dapat memperbaiki kerusakan jalan. Modifikasi dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi *self driving* dan teknologi *5G* setelah itu modifikasi juga dapat dilakukan dengan menggabungkannya dengan software-software pengumpul data kerusakan jalan.

4) *EPOCH 6LT*

EPOCH 6LT, dengan alat yang diproduksi oleh perusahaan *Olympus* dan merupakan alat yang berguna untuk mendeteksi kerusakan jembatan tanpa merusaknya. Alat ini berguna untuk melakukan pemeriksaan jalan dengan mudah karena ukuran alat yang kecil, alat ini dapat tergolong sebagai *cloud computing*, namun juga datanya dapat disimpan via *USB*. Peralatan yang mirip sudah digunakan di Indonesia untuk memeriksa tebal-tebal pipa, peralatan ini juga didesain dengan *Ultra High Probability*.



Gambar 27. EPOCH LT6

F. *Facility Management and Demolition*

1) *Facility Management*

Manajemen fasilitas adalah segala sesuatu yang menyangkut pemeliharaan dan pengorganisasian dalam perusahaan. Itu adalah setiap layanan yang memfasilitasi kegiatan bisnis; itu membahas keselamatan, personel, telekomunikasi.

Manfaat *Facility Management* antara lain sebagai berikut:

a. *Integration with Maintenance Management*

Building Commissioning Classic Method

- *Difficult To Access*
- *Impossible to Analyze*
- *Hard To Update*



Gambar 28. Maintenance Management

b. *Asset tracking and management*

Melacak aset dan anggaran melalui spreadsheet sama berbelit-belitnya.

- Cari log pemeliharaan tahunan
- Bandingkan log pemeliharaan dengan faktur
- Tinjau pesanan pembelian untuk persediaan mesin fotokopi

c. System of Record

Kebutuhan fasilitas berkembang dari waktu ke waktu, menjadikan sistem pencatatan penting dalam memahami dan memenuhi tuntutan. Melacak biaya historis, tren, dan perubahan dari waktu ke waktu adalah salah satu manfaat utama sistem manajemen fasilitas. Lihat beberapa dari ratusan titik data yang perlu dilacak oleh pengelola fasilitas:

- Pertumbuhan hunian ruang dari waktu ke waktu
- Lokasi karyawan atau stasiun kerja yang ditugaskan
- Biaya aset dan siklus hidup
- Biaya utilitas
- Biaya perbaikan gedung dan peningkatan modal.

d. Cost Analysis

Biaya mengatur segalanya di tempat kerja. Mengetahui berapa banyak biaya atau biaya berulang yang dihadapi perusahaan Anda adalah penting, tetapi jumlah ini jauh dari total biaya operasi bisnis. Analisis manajemen fasilitas memberikan wawasan yang tajam tentang biaya nyata untuk menjaga tempat kerja Anda tetap berjalan.

Misalnya, mengetahui berapa banyak ruang yang Anda gunakan secara efektif versus biaya sewa Anda akan menunjukkan biaya sebenarnya per kaki persegi. Dari sana, Anda dapat menentukan pengeluaran lain, seperti biaya per meja panas dan bukan pemanfaatan. Wawasan berlimpah ketika Anda mulai melihat biaya tertentu versus kontribusinya terhadap bisnis.

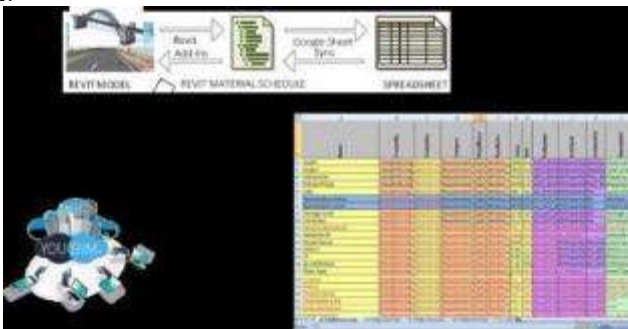
e. Integration

Tempat kerja Anda semakin pintar. Manfaat manajemen fasilitas terintegrasi mendukung Internet of Things (IoT) kantor yang sedang berkembang.

f. BIM and Automation Systems

Biaya mengatur segalanya di tempat kerja. Mengetahui berapa banyak biaya atau biaya berulang yang dihadapi perusahaan Anda adalah penting, tetapi jumlah ini jauh dari total biaya operasi bisnis. Analisis manajemen fasilitas memberikan wawasan yang tajam tentang biaya nyata untuk menjaga tempat kerja Anda tetap berjalan .

Memahami dan menganalisis berbagai biaya tempat kerja mendorong perencanaan bisnis yang efektif. Anda akan tahu berapa banyak yang Anda belanjakan setiap tahun untuk utilitas. Anda akan dapat merencanakan biaya ekspansi ketika saatnya tiba untuk mendapatkan kantor yang lebih besar. Dan, Anda akan tahu cara menganggarkan layanan TI untuk tahun ini dengan benar.



Gambar 29. Ilustrasi YOUBIM

2) Demolition

Brokk 120D II adalah robot penghancur bertenaga diesel terkecil di dunia . Ini cukup kecil untuk memasuki pintu biasa dan dapat dengan mudah dioperasikan di ruang terbatas. Brokk

120D II sepenuhnya nirkabel dan dapat beroperasi setidaknya selama delapan jam tanpa perlu isi ulang bahan bakar. Dengan Brokk SmartPower™, Brokk 120D II dapat diandalkan seperti robot listrik dengan ukuran yang sama. Brokk 120D II adalah teladan keunggulan bertenaga diesel.

Kelebihan:

- a. Robot penghancur diesel terkecil di dunia
- b. Ideal untuk tempat yang tidak memiliki catu daya yang andal
- c. Kompatibel dengan lampiran untuk Brokk 110
- d. Kecepatan pelacakan tinggi untuk mobilitas



Gambar 30. Penggunaan Brokk 120D

3. Penutup

A. Kesimpulan

Kemajuan teknologi dan ilmu tidak hanya dirasakan dimasa saat ini, kita juga harus mempersiapkan diri dan berinovasi dalam mengembangkan dunia konstruksi untuk menjalankannya serta siap memasuki dunia Industri 4.0. Berikut adalah rangkaian-rangkaian perencanaan jangka pendek hingga jangka panjang :

1) Jangka Pendek (1-2 tahun)

Hal yang harus dilakukan dalam jangka pendek ini ialah membentuk tim pengajaran (edukasi). Dalam mempersiapkan perkembangan Industri 4.0 ini pengajaran atau edukasi dibutuhkan untuk menjadi dasar maupun modal untuk mengembangkan sumber daya manusia yang berkompeten dan unggul. Hingga saat ini, sudah banyak perusahaan yang membuat perubahan melakukan pekerjaan dari metode konvensional menjadi secara online serta digitalisasi.

Digitalisasi membantu sumber daya manusia dalam bekerja sehingga ia menjadi lebih efektif dan efisien dalam waktu pekerjaan. Namun, hal ini masih dirasa sangat memberatkan bagi sebagian orang. Seperti, penggunaan e-procurement yang membantu pemberi jasa dan penyedia jasa dalam proses sebuah tender. Namun, untuk beberapa penyedia jasa kecil masih terkendala dengan proses online yang dirasa memberatkannya.

Oleh karena itu, pengajaran atau edukasi dirasa sangat penting untuk memberikan dasar-dasar prinsip dan langkah-langkah penggunaan software serta alat-alat yang sudah otomatis. Serta memberikan pengetahuan terkait tujuan dan fungsi inovasi pada dunia konstruksi untuk masa depan.

2) Jangka Menengah (3-6 tahun)

Pada rencana jangka menengah ini penulis ingin mengembangkan big data untuk data-data proyek-proyek serta bangunan yang sudah jadi untuk di simpan suatu platform. Dalam tahap ini, dapat bekerja sama dengan pemerintahan. Data-data ini

bukan hanya untuk pekerjaan konstruksi yang besar ataupun pekerjaan dari pemerintah.

Banyak sekali keuntungan jika data atau dokumen yang lengkap dapat menjadi arsip. Salah satu keuntungan dari big data adalah dapat membantu evakuasi saat terjadinya bencana alam. Dalam dunia konstruksi, data-data pada tahapan perencanaan hingga selesainya masa konstruksi dapat membantu saat masa perawatan serta manajemen fasilitas. Namun, yang lebih penting dari big data ini dapat membantu perkembangan ilmu teknologi untuk dapat berinovasi dan berinovasi dalam dunia konstruksi.

3) Jangka Panjang (7-10 tahun)

Pada rencana jangka panjang setelah sumber daya manusia yang sudah dapat mengikuti alur atau penerapan teknologi kita dapat mengembangkan dunia konstruksi pada industri 4.0 dengan menyeleraskan lingkungan atau alam. Karena transformasi dunia konstruksi pada Industri 4.0 menciptakan atmosfer baru, atmosfer dengan metode manufaktur yang lebih efisien, jaringan industri kolaboratif, iklim dengan pandangan baru tentang desain dan pelaksanaan produksi juga harus mengikuti tentang pembangunan yang berkelanjutan dengan lingkungan atau alam.

Oleh karena itu, perencanaan jangka panjang ini mengenai research and development antara alat berat serta material atau bahan konstruksi dengan teknologi hemat energi. Banyak alat-alat konstruksi atau alat berat yang masih konvensional maupun alat-alat untuk quality control yang dapat dikembangkan secara teknologi dengan sistem robotic dan tetap mengusung teknologi hemat energi serta pengembangan material-material bahan konstruksi yang tidak merusak lingkungan hidup dan alam sekitar. Material yang dikembangkan secara mutu dan dimensi, dimensi yang tipis namun dapat kokoh, kuat dan fleksibel. Dalam dunia konstruksi seperti pengembangan material aspal, banyak jalan raya yang umumnya masih dibawah 10 tahun namun sudah berlubang dan rusak. Research and development material-material bahan konstruksi sangat dibutuhkan untuk masa datang.

B. Saran

Sebagai anak muda yang masih mempunyai banyak waktu dan tenaga untuk bisa terus mengembangkan bakat dan minat, terlebih dibidang konstruksi sehingga bila mana nantinya Industri 4.0 masuk ke Indonesia secara cepat, kita tidak kalah bersaing dengan tenaga ahli dari luar negeri. Dengan dibuatnya Jurnal ini mengenai Industri 4.0 dibidang konstruksi maka sudah menjadi jembatan bagi kita anak muda untuk terus belajar mengenai semua software maupun hardware yang mana nantinya akan kita gunakan. Tidak ada salahnya kita belajar sesuatu hal yang baru, dipakai atau tidak pasti akan tetap berguna untuk kita semua.

Ucapan terima kasih

Terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penelitian ini, sehingga penelitian ini dapat selesai.

Daftar pustaka

- R. Kaur and A. Kaur, "Digital Signature," 2012 International Conference on Computing Sciences, 2012, pp. 295-301, doi: 10.1109/ICCS.2012.25.
- Azhar, Salman, Malik Khalfan, and Tayyab Maqsood. 2012. "Building Information Modeling (BIM): Now and Beyond." *Australasian Journal of Construction Economics and Building* 12(4): 15–28.

- Despa, Dikpride and Widyawati, Ratna and Purba, Aleksander and Septiana, Trisya (2020) Edukasi Implementasi Undang – Undang Keinsinyuran Pada Aparatur Sipil Negara (Asn) Pemerintahan Kabupaten Di Lampung. Prosiding Senapati Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat Teknologi Dan Inovasi Pengabdian Masyarakat Di Era Revolusi Industri 4.0 Dan Society 5.0. Pp. 47-50. Issn 2685-0427
- Hariman, Ferry, Hary Christady H., and Andreas Triwiyono. 2007. "Evaluasi Dan Program Pemeliharaan Jembatan Dengan Metode Bridge Management System (Bms) (Studi Kasus: Empat Jembatan Propinsi D.I. Yogyakarta)." *Civil Engineering Forum Teknik Sipil* 17(3): 581-593–593.
- Sulistiono, Wahyu Eko and Muhammad, Meizano Ardhi and Andrian, Rico and ., Martinus and Nama, Gigih Forda and S, Ghuffrony Rezaldhy and Annisa, Resty and Mulyani, Yessi and Djausal, Anisa Nuraisa (2021) Virtual Reality as Learning Media for Lampung Historical Heritage. In: International Conference on Converging Technology in Electrical and Information Engineering (ICCTEIE), 27-28 October 2021.
- Martinus; Djausal, Anshori; Djausal, Gita Paramita (2017) Ecoroad: A Sustainable Infrastructure For Road Development In National Park. In: International Conference Asean Golden Anniversary, 22-23 Agustus 2017, Malang.
- Nama, G. F., & Muludi, K. (2018). Implementation of two-factor authentication (2FA) to enhance the security of academic information system. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(8), 2209-2220.
- Zulkifli, Mohd. 2010. "Managing Road Maintenance Using Geographic Information System Application."
- Zulmiftahul, Huda and Khairudin, Khairudin and Lukmanul, Hakim and Zebua, Osea (2020) Pelatihan Instalasi Sistem Plts Bagi Siswa-Siswi Di Smk 2 Mei Bandar Lampung. Prosiding Senapati Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat Teknologi Dan Inovasi, 2. Pp. 285-288. Issn Issn: 2685-0427