

## Pengaruh Penambahan Zat Aditif Pada Pengecoran Beton *Joint Pit* SKTT 150 kV Sario – Teling

Andrian Juli Fitrianto<sup>a,\*</sup>, Dzikri Firmansyah Hakam<sup>b,c</sup>, Iswan Prahastono<sup>b</sup>, Akiman Nainggolan<sup>a</sup>

<sup>a</sup>UPDL Bogor, Pusat Pendidikan dan Pelatihan, PT PLN (Persero)

Jl. Raya Puncak Km. 72, Cibogo, Megamendung, Kab. Bogor, Indonesia

<sup>b</sup>Pusat Penelitian dan Pengembangan Ketenagalistrikan, PT PLN (Persero)

Jl. Duren Tiga No.102, Jakarta Selatan, Indonesia

<sup>c</sup>School of Business and Management (SBM), Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesa No. 10, Bandung, Indonesia

\*E-mail: andrian.fitrianto@pln.co.id, andrian.fitrianto@gmail.com

### Abstract

The construction of a 150 kV Sario - Teling High Voltage Cable Line (SKTT), which located in the city of Manado - North Sulawesi Province, is an important electricity project that has been planned to operate in 2020 according to the 2019-2028 Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL). This transmission line construction is expected to increase electrical energy services in North Sulawesi region. This SKTT project applied the Boring Horizontal Directional Drilling (HDD) method to install the 150 kV SKTT cable. On the other hand, the Joint Pit installation uses a Box Culvert precast construction consisting of reinforced concrete. From the test results of the samples, we can conclude that there were an increases in the compressive strength of concrete from 1,04% to 1,27% above the compressive strength of normal concrete. There was a decrease in the compressive strength of the concrete at several points. However, this anomaly is still above the minimum limit of concrete compressive strength determined by PLN, which is 400 kg / cm<sup>2</sup>. This study involved laboratory testing to determine the effect of additives added during Box Culvert casting in order to obtain an efficient hardening time. It is hoped that this study will have an impact on the completion of the SKTT 150 kV Sario - Teling project on time, so that it can provide economic benefits for PLN and the consumer.

**Kata kunci:** SKTT, box culvert, joint pit, additives, compressive strength of concrete

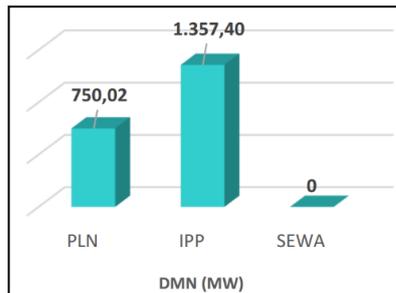
### Abstrak

Pekerjaan Pembangunan Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) 150 kV Sario – Teling yang terletak di kota Manado Propinsi Sulawesi Utara merupakan pekerjaan strategis ketenagalistrikan yang telah direncanakan untuk beroperasi tahun 2020 sesuai dengan RUPTL 2019 – 2028. Pekerjaan SKTT ini diharapkan dapat meningkatkan pelayanan energi listrik di wilayah Sulawesi Utara. Pekerjaan SKTT ini menggunakan metode kerja *Boring Horizontal Directional Drilling* (HDD) untuk memasang kabel SKTT 150 kV. Di lain sisi, pemasangan *Joint Pit* menggunakan konstruksi *precast Box Culvert* yang terdiri dari beton bertulang. Dari hasil pengujian beberapa sampel terjadi peningkatan kuat tekan beton sebesar 1,04% sampai dengan 1,27% di atas kuat tekan beton normal. Namun, terjadi pula penurunan kuat tekan beton di beberapa titik. Tetapi masih berada di atas batas minimal kuat tekan beton yang ditentukan oleh PLN yaitu 400 kg/cm<sup>2</sup>. Studi ini melibatkan pengujian laboratorium untuk mengetahui pengaruh zat aditif yang ditambahkan saat pengecoran *Box Culvert* dengan tujuan mendapatkan waktu pengerasan yang efisien. Diharapkan studi ini dapat berdampak pada selesainya proyek SKTT 150 kV Sario – Teling dengan tepat waktu, sehingga dapat memberikan manfaat ekonomi bagi PLN dan masyarakat.

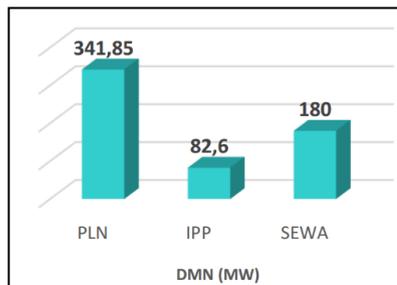
**Kata kunci:** SKTT, box culvert, joint pit, zat aditif, kuat tekan beton

### 1. Pendahuluan

Sistem tenaga listrik di Sulawesi terdiri dari sistem Sulawesi bagian utara (Sulbagut) dan sistem Sulawesi bagian selatan (Sulbagsel). Sistem Sulbagut terdiri dari sistem interkoneksi 150 kV dan 70 kV yang berada di Propinsi Sulawesi Utara dan Gorontalo, sedangkan untuk Sistem Sulbagsel terdiri dari sistem interkoneksi 275 kV, 150 kV dan 70 kV di Propinsi Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Barat, dan Sulawesi Tengah. Daya Mampu Netto (DMN) sistem Sulbagsel adalah 2.107,4 MW dan sistem Sulbagut adalah 604,45 MW. Daya Mampu Netto (DMN) adalah daya mampu maksimum netto pembangkit yang memasok sistem (setelah dikurangi pemakaian sendiri dan lainnya), sesuai dengan kontrak jual – beli [1].



**Gambar 1.** DMN Pembangkit Sistem Sulbagesel 2019 berdasarkan kepemilikan [1].



**Gambar 2.** DMN Pembangkit Sistem Sulbagut 2019 berdasarkan kepemilikan [1].

Sistem Sulbagut memiliki subsistem Minahasa (Sulawesi Utara) yang terkoneksi dengan subsistem Gorontalo. Beberapa kabupaten di Sulawesi Utara yang belum terkoneksi sistem Sulbagut masih mendapatkan pasokan listrik melalui sistem tenaga listrik 20 kV, misalnya kabupaten Bolaang Mongondow Selatan, Bolaang Mongondow Timur, dan Minahasa Tenggara. Sedangkan untuk sistem kelistrikan untuk kepulauan dipasok oleh sistem tenaga listrik 20 kV isolated yang terdiri dari kabupaten kepulauan Sitaro, kepulauan Sangihe, dan kepulauan Talaud. Sistem isolated 20 kV ini juga meliputi pulau terluar Indonesia yang ada di Sulawesi yaitu Pulau Miangas, Morare dan Marampit [1, 2].

Subsistem tenaga listrik Minahasa memiliki kontribusi terbesar pada saat beban puncak sistem Sulbagut yaitu mencapai 60,5% atau 254,22 MW dibandingkan dengan subsistem lainnya yang ada di sistem Sulbagut [1].

**Tabel 1.** Beban Puncak Area Sistem Sulbagut [1].

Area	Beban Diversity 2019 (MW)
Minahasa	254,218
Kotamobagu	52,524
Gorontalo	113,453
<b>Sistem Sulbagut</b>	<b>420,195</b>

Kebutuhan tenaga listrik di subsistem Minahasa ini sebagian besar ditujukan untuk tujuan wisata, sektor perdagangan, hotel dan restoran (PHR), pembangunan Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Bitung, dan potensi pelanggan besar lain. Pertumbuhan tenaga listrik di subsistem Minahasa adalah sebesar 9,2% per tahun dengan proyeksi beban puncak 444 MW pada tahun 2021 [2].

PLN sebagai operator ketenagalistrikan di Indonesia melakukan pengembangan sistem pembangkit dan sistem transmisi untuk tegangan 150 kV dan 70 kV, termasuk pengembangan subsistem Minahasa. Berdasarkan Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2019 – 2028 [2], pemerintah Indonesia berencana melakukan pengembangan jaringan transmisi di Sulawesi Utara, diantaranya melakukan pembangunan Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) 150 kV Sario – Teling dengan panjang 10 kms. Pembangunan SKTT ini meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik di kota Manado dan memenuhi kebutuhan listrik pelanggan besar seperti hotel, mall, dan kawasan bisnis di pusat kota Manado [2].

SKTT 150 kV Sario – Teling direncanakan *Commercial of Date* (COD) pada tahun 2020, sehingga membutuhkan kecepatan dalam penyelesaian proyek ini. Pekerjaan saluran transmisi ini merupakan bagian dari perencanaan strategis yang ada di Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero). Untuk memitigasi resiko keterlambatan waktu dalam pekerjaan ini, maka digunakan *Box Culvert* sebagai penyusun *Joint Pit* yang ditambahkan dengan zat aditif untuk mempercepat waktu pengerasan dan meningkatkan kekuatan tekan beton di awal.

SKTT 150 kV Sario – Teling menghubungkan *Gas Insulated Switchgear* (GIS) 150 kV Teling menuju GIS 150 kV Sario [2] yang memiliki panjang saluran transmisi sepanjang 3.980 meter dan *Joint Pit* sebanyak 7 buah. *Joint Pit* adalah suatu konstruksi bangunan yang berfungsi sebagai titik sambungan (terminasi) kabel 150 kV. *Joint Pit* ini

memiliki dimensi panjang 12 meter, lebar 2,36 meter, dan kedalaman 2,4 meter serta terbuat dari beton bertulang. Pembangunan *Joint Pit* diharapkan dapat segera diselesaikan untuk mempercepat proses pengerasan *concrete* beton yang pada akhirnya mempercepat penyelesaian pekerjaan transmisi. Adapun salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mempersingkat waktu pekerjaan transmisi adalah dengan melakukan penambahan zat aditif pada pengecoran *Box Culvert Joint Pit* sehingga mempersingkat waktu pengerasan beton.

*Box Culvert Joint Pit* direncanakan memakai mutu beton K-500 sesuai Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI) 1971 [7]. Berdasarkan referensi [7], kekuatan minimal tekan hancur beton dengan umur 28 hari adalah 500 kg/cm<sup>2</sup>. Dengan adanya penambahan zat aditif ini, maka diharapkan kuat tekan beton *Joint Pit* adalah sesuai dengan peraturan yang berlaku, yaitu memiliki nilai di atas 500 kg/cm<sup>2</sup> sebelum 28 hari. Pada akhirnya, pekerjaan SKTT di subsistem Minahasa dapat selesai tepat waktu.

Studi ini terdiri dari beberapa Bab yaitu Bab 1 Pendahuluan berisi tentang latar belakang, tujuan penelitian, dan gambaran sistem tenaga listrik Sulawesi khususnya subsistem Sulawesi Utara. Bab 2 menggambarkan kondisi eksisting pembangunan SKTT 150 kV Sario – Teling. Bab 3 berisi tentang metode penelitian yang digunakan dalam studi ini. Bab 4 adalah hasil dan pembahasan dari penelitian yang dilakukan, sedangkan Bab 5 adalah kesimpulan dan saran.

Studi tentang penambahan zat aditif di beton *concrete* dengan tujuan mempercepat pengerasan telah banyak dilakukan di beberapa studi. Sebagai contoh, studi yang dilakukan di penelitian [3] pada sektor transportasi yang melakukan penambahan aditif alkaloid dan zeolit di pembangunan jalan. Selain itu, studi [4] menggunakan campuran *fly ash* dengan semen *Ordinary Portland Cement* (OPC) dalam pembuatan beton. Namun, berdasarkan review yang dilakukan oleh penulis belum ada studi eksperimen penambahan zat aditif yang dilakukan dalam konstruksi *Joint Pit* untuk sektor ketenagalistrikan dengan studi kasus sistem interkoneksi Indonesia. Oleh karena itu studi ini memberikan kebaruan dalam literatur akademik terkait studi penambahan zat aditif untuk pembangunan sistem transmisi tenaga listrik.

Studi ini melibatkan pengujian laboratorium untuk mengetahui pengaruh zat aditif yang ditambahkan saat pengecoran *Box Culvert* dengan tujuan mendapatkan waktu pengerasan yang efisien. Diharapkan studi ini dapat berdampak pada selesainya proyek SKTT 150 kV Sario – Teling dengan tepat waktu, sehingga dapat memberikan manfaat ekonomi bagi PLN dan masyarakat.

## 2. Kondisi Eksisting Pembangunan SKTT 150 kV Sario – Teling

### 2.1 Rute

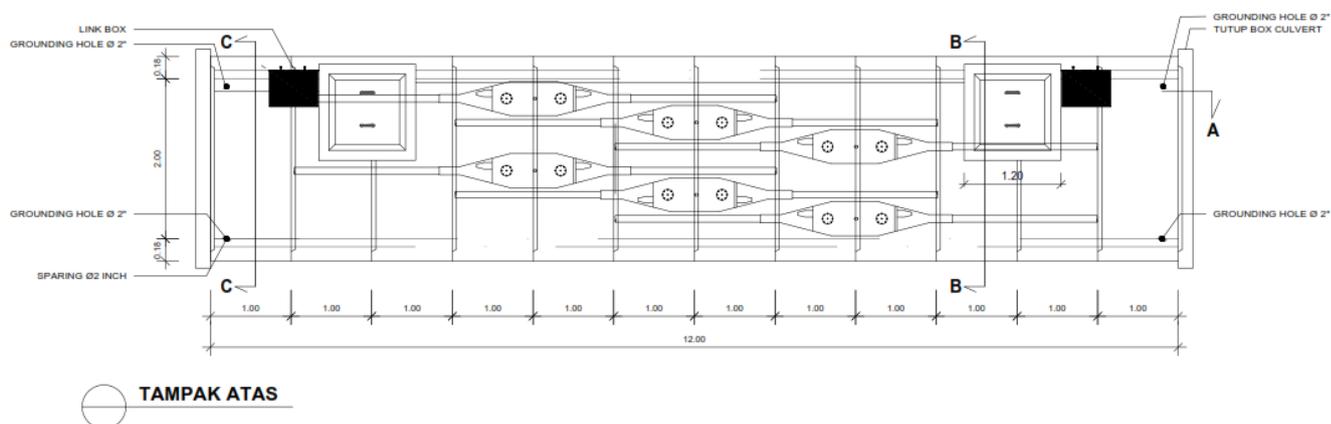
Sesuai gambar desain yang dilakukan oleh PLN, SKTT 150 kV GIS Sario – GIS Teling memiliki panjang rute 3.980 meter dengan jumlah *Joint Pit* (JP) sebanyak 7 buah. Pemasangan kabel SKTT sebagian besar menggunakan *Boring HDD* sedangkan konstruksi *Joint Pit* (JP) menggunakan *Box Culvert* yang terbuat dari beton bertulang.

Tabel 2. adalah metode kerja pemasangan kabel yang dilakukan pada SKTT 150 kV Sario – Teling. Metode kerja ini disesuaikan dengan kondisi pekerjaan di lapangan yang terdiri dari beberapa variabel yaitu lebar jalan, kepadatan lalu lintas, instalasi di bawah tanah, rute pekerjaan apakah melewati sungai atau jembatan. Beberapa metode kerja yang umum dilakukan untuk pemasangan SKTT diantaranya adalah *Boring Horizontal Directional Drilling* (HDD), *Manual Boring*, *Direct Buried*, dan *Cable Duct*. *Boring HDD* adalah proses konstruksi dalam pemasangan jaringan pipa dan utilitas bawah tanah, tanpa membuat parit atau saluran terbuka [13]. Metode kerja ini dilakukan dengan cara pengeboran di dalam tanah dengan menggunakan mesin. Metode *Boring HDD* memungkinkan pelaksanaan pemasangan kabel dapat dilakukan dengan relatif lebih cepat dibandingkan dengan metode tanpa mesin. Namun, *Boring HDD* mempunyai kekurangan dibandingkan metode konvensional terkait biaya yang lebih tinggi. Metode yang ke-2 adalah *Manual Boring* yaitu pemasangan kabel dengan cara pengeboran secara *Manual*. Metode yang ke-3 adalah *Direct Buried* yaitu membuat saluran kabel dengan cara menggali tanah, kemudian ditimbun kembali setelah kabel diletakkan di saluran tersebut. Metode yang ke-4 adalah *Cable Duct* yaitu membuat saluran kabel dengan cara membuat konstruksi beton bertulang ukuran tertentu dan dilengkapi dengan penutup *Cable Duct*. Untuk pemasangan kabel SKTT yang optimal sesuai keadaan di lapangan, maka metode pemasangan kabel yang ada di SKTT 150 kV Sario – Teling menggunakan *Boring HDD* sepanjang 3.540 meter, *Manual Boring* sepanjang 200 meter, dan *Cable Duct* sepanjang 240 meter.

**Tabel 2.** Metode Pemasangan Kabel SKTT [9]

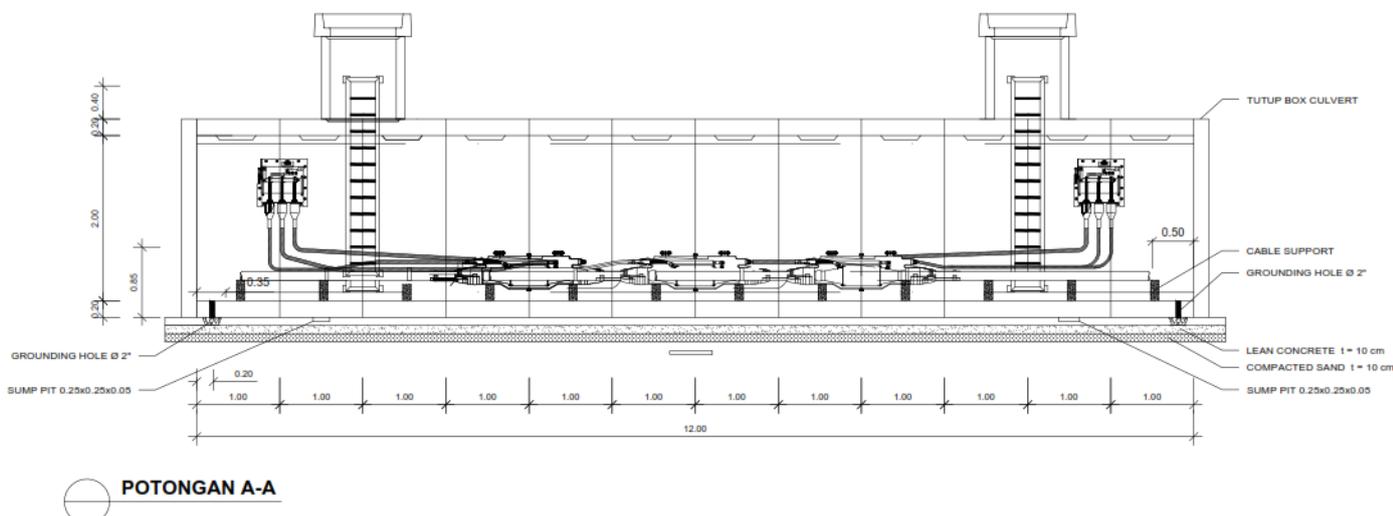
No	Section	Length (m)	Boring HDD (m)	Manual Boring(m)	Cable Duct (m)
1	GIS Teling – JP1	515	245	200	70
2	JP1 – JP2	500	500	0	0
3	JP2 – JP3	500	500	0	0
4	JP3 – JP4	500	500	0	0
5	JP4 – JP5	500	500 </td <td>0</td> <td>0</td>	0	0
6	JP5 – JP6	500	500	0	0
7	JP6 – JP7	500	500	0	0
8	JP7 – GIS Sario	465	295	0	170
Total		3.980	3.540	200	240

Gambar 3. merupakan tampak atas desain konstruksi *Joint Pit* yang ada di SKTT 150 kV Sario – Teling. Panjang keseluruhan *Joint Pit* adalah 12 meter dan lebar 2,36 meter. *Joint Pit* ini disusun oleh 12 buah *Box Culvert* dengan lebar 1 meter. Pada *Joint Pit* terdapat 2 *manhole* dengan lebar 1,2 meter x 1,2 meter untuk keperluan penyambungan kabel dan pemeliharaan SKTT. Potongan A-A konstruksi *Joint Pit* ditampilkan pada gambar 4, sedangkan potongan B-B dan potongan C-C konstruksi *Joint Pit* pada Gambar 5 [9].



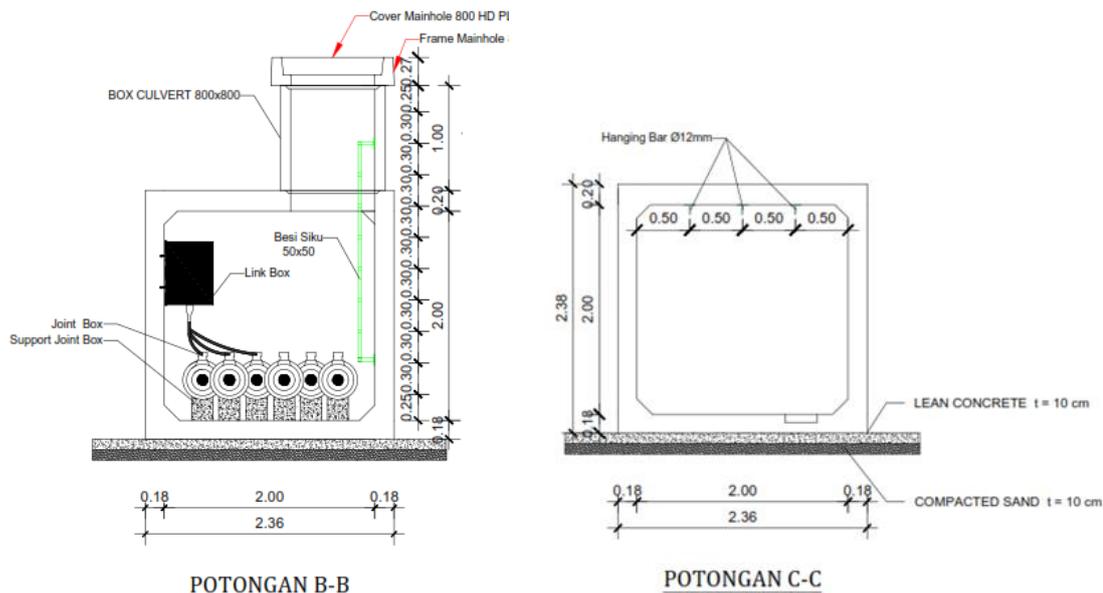
**Gambar 3.** Tampak Atas *Joint Pit* [9]

Gambar 4. merupakan potongan A-A konstruksi *Joint Pit*. Kedalaman *Joint Pit* ini adalah 2,4 meter dan dilengkapi dengan 2 tangga agar memudahkan operator atau inspektur naik dan turun ke dalam *Joint Pit*. Selain itu, di *Joint Pit* ini terdapat *cable support* sebagai dudukan sambungan kabel, *grounding hole* untuk pemasangan pentanahan, dan *sump pit* sebagai lubang cekungan untuk mengumpulkan cairan yang tercecer [9].



**Gambar 4.** Potongan A-A *Joint Pit* [9]

Gambar 5. merupakan potongan B-B dan potongan C-C konstruksi *Joint Pit*. Dapat dilihat di sini ketinggian *manhole* adalah 1 meter dan dilengkapi dengan *cover manhole* dengan tebal 0,27 meter [9].



Gambar 5. Potongan B-B dan Potongan C-C *Joint Pit* [9]

## 2.2 Mix Design Campuran Beton

Bahan baku untuk memproduksi suatu beton bersifat murah dan tersedia di banyak tempat. Beton mempunyai sifat yang kuat (dalam kompresi/ tekan), tahan lama, tahan api, dan dapat diterapkan dalam hampir semua bentuk. Beton terdiri dari pengisi pasir, kerikil, atau bahan butiran lainnya, dibentuk oleh reaksi hidrasi eksotermal antara bahan yang mengandung semen (semen atau pengganti semen seperti *fly ash*) dan air. Tambahan atau alternatif aditif, campuran, agregat, dan sementit bahan diterapkan untuk mencapai sifat tertentu seperti pemadatan sendiri, kekuatan tinggi, CO2 rendah- tapak, keuletan, dan lain – lain [5], [14], [17].

*Mix Design* adalah [14] metode perencanaan campuran beton untuk mencapai mutu beton yang diinginkan dengan menggunakan standar tertentu, misalnya menggunakan metode *American Concrete Institute (ACI)*. Perancangan campuran beton terdiri dari *Portland Cement (PC)*, agregat halus, agregat kasar, dan air, dimana masing-masing komponen mempunyai perbandingan untuk mencapai kuat tekan beton yang direncanakan. Desain campuran beton K-500 untuk proyek SKTT 150 kV Sario – Teling adalah sebagai berikut:

Tabel 3. *Mix Design* Beton pada *Box Culvert Joint Pit* (Sumber: PLN)

CEMENT : CONCH (OPC : TYPE I)

Max Size Agregate (mm)	Slump (cm)	Air Content (%)	W/C (%)	S/A (%)	Free Moisture (%)	Unit Weight (kg/m <sup>3</sup> )						
						Water	Cement	Sand	Aggregate		Admixture (kg)	
									5/20 mm	20/30 mm	Plastiment VZ	Sikament LN
<i>Mix Design K.500</i>												
30	12 ± 2.0	1.20	37.50	44.30	-	180.54	481.44	660.56	553.12	363.80	1.42	2.89
<i>Free Water</i>			<i>March 5, 2020</i>		2.35	-15.52	-	15.52	-	-	-	-
<i>Actual Batch</i>			1.00 m <sup>3</sup>		-	165.0	481.4	676.1	553.1	363.8	1.4	2.9
<i>Cummulatif Batch</i>			1.00 m <sup>3</sup>		-	165	481	676	1229	1593	1.42	2.89
<i>Cummulatif Batch</i>			1.25 m <sup>3</sup>		-	206	602	845	1537	1991	1.78	3.61
<i>Cummulatif Batch</i>			1.50 m <sup>3</sup>		-	248	722	1014	1844	2390	2.13	4.34

Dalam hal ini, mutu beton untuk proyek SKTT GIS Sario – GIS Teling direncanakan mempunyai kekuatan tekan beton 500 kg/cm<sup>2</sup> pada umur 28 hari.

### 3. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menganalisis desain campuran beton K-500 yang menggunakan bahan aditif Sikament LN dan Plastiment VZ dan melakukan pengujian kuat tekan sampel beton *Joint Pit* proyek SKTT 150 kV Sario – Teling.

Penambahan zat aditif untuk mempercepat proses pekerjaan, telah dianalisis di berbagai studi, diantaranya studi campuran *alkaloid* dan *zeolit* untuk pembangunan jalan [3], campuran *fly ash* dengan semen *Ordinary Portland Cement* (OPC) dalam pembuatan beton [4], penambahan zat aditif *polcon* dan zat aditif tam pada pelat fondasi kedap air [11], penambahan zat aditif *Consol* SG pada beton [10], penambahan plastiment VZ [6], serta penambahan zat aditif sikament LN terhadap kuat tekan beton normal [12].

Bahan aditif yang digunakan dalam studi ini adalah Sikament LN yang sesuai dengan referensi [12]. Berdasarkan referensi [12], penambahan Sikament LN dapat meningkatkan kuat tekan beton. Selain itu, zat aditif Plastiment VZ bermanfaat untuk menghambat waktu pengikatan beton yang memperlancar proses pengerasan di lapangan [6].

Pengambilan sampel beton dilakukan ketika pekerjaan pengecoran *Box Culvert Joint Pit* sedang berlangsung pada periode Februari – April 2020. Sampel beton tersebut dilakukan uji kuat tekan beton ketika berumur kurang dari 28 hari, dalam studi ini pengujian dilakukan bervariasi pada sampel umur 10 sampai 26 hari. Hasil uji kuat tekan ini dibandingkan dengan kuat tekan beton umur 28 hari. Pengujian kuat tekan beton dilakukan oleh PLN di laboratorium Kementerian PUPR Kota Kotamobagu.

Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk mengetahui kekuatan beton ( $\text{kg/cm}^2$ ) *Box Culvert* yang akan dipasang di *Joint Pit* proyek SKTT 150 kV Sario – Teling. Variabel dalam Pengujian ini adalah jenis konstruksi *Box Culvert*, tanggal pembuatan sampel beton, tanggal pengujian sampel beton, umur beton, dan hasil kuat tekan beton.

Hasil yang diharapkan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui pengaruh zat aditif Sikament LN dan Plastiment VZ terhadap kekuatan tekan beton sebelum umur  $\leq 28$  hari. Sedangkan total jumlah sampel beton yang diuji adalah sebanyak 63 sampel.

#### 3.1 Zat Aditif

Dalam SNI 2847:2019 [8] mengenai persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung terdapat persyaratan material campuran tambahan (*admixture*) agar beton mencapai kinerja tertentu. Bahan tambahan Tipe S adalah bahan tambahan yang tidak memiliki efek merugikan pada karakteristik beton apabila diuji dengan ketentuan ASTM C494M. Pabrikasi yang memproduksi bahan tambahan harus memberikan data yang menyatakan bahan tambahan telah memenuhi persyaratan Tipe S.

Material campuran tambahan (*admixture*) yang dipakai pada *Joint Pit* SKTT 150 kV Sario – Teling adalah Sikament LN yang memiliki karakteristik reduksi kadar air sehingga menghasilkan peningkatan 40% kuat tekan dalam 28 hari. Selain itu material *admixture* memiliki karakteristik yang dapat meningkatkan kedap air, sehingga dapat mempercepat proses pengerasan sesuai dengan ASTM C494-92. Penggunaan zat aditif Sikament LN ini cocok digunakan untuk pekerjaan beton pracetak, pembongkaran bekisting, dan pemenuhan kekuatan beton di awal [15]. Dengan menggunakan campuran Sikament LN, kuat tekan beton hasil campuran akan berada pada level yang lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tekan beton normal, sesuai dengan fungsi dari Sikament LN sebagai bahan aditif pada beton mutu tinggi [2]. Material campuran tambahan lainnya yang sering digunakan sebagai zat aditif adalah Plastiment VZ yang merupakan *Admixture* jenis D dengan fungsi *retarder* dan *water reducer* sehingga memudahkan pekerjaan dan penuangan beton [6].

#### 3.2 Pengecoran Beton

Pengecoran beton merupakan proses pengadukan campuran agregat halus, agregat kasar, semen, dan air dengan atau tanpa bahan tambahan serta menggunakan mesin pengaduk [16]. Pekerjaan SKTT ini menggunakan beton *ready mix* yaitu beton yang dihasilkan di lokasi *batching plant*. Selanjutnya, beton *ready mix* dalam bentuk beton segar diangkat menggunakan truk *mixer* ke lokasi proyek [16]. Beton segar dari *ready mix* (beton *precast* atau pracetak) dituang ke dalam cetakan yang sudah dibuat dan besi tulangan yang telah terpasang di luar lokasi proyek. Pekerjaan beton dengan menggunakan beton pracetak dapat mempercepat waktu pelaksanaan pekerjaan, menghemat biaya konstruksi, dan meminimalisir terjadinya *waste* untuk pekerjaan bekisting dan perancah. Pengecoran dengan menggunakan beton pracetak atau *precast* memungkinkan terjaganya kualitas beton dan kontrol pekerjaan dikarenakan beton *precast* ini dihasilkan sesuai standar yang berlaku [17].



Gambar 6. Pengecoran Beton Box Culvert Joint Pit (Sumber: PLN)

Studi ini menggunakan jumlah air dengan nilai *slump* (tingkat keenceran) sesuai standar [7] yaitu  $12 \pm 2$  cm sehingga hasil pengadukan beton *Box Culvert* menjadi homogen. Komposisi penambahan zat aditif (*Admixture*) dalam pekerjaan SKTT ini adalah Sikament LN sejumlah 2,89 kg dan Plastiment VZ sejumlah 1,42 kg. Untuk mencegah timbulnya rongga, ruang kosong, dan sarang kerikil, maka campuran material harus dipadatkan selama pengecoran berlangsung. Pemadatan ini dapat dilakukan dengan alat pemadat mekanis (*Concrete Vibrator*) sesuai dengan referensi [7]. Pengontrolan terhadap kualitas adukan beton dilakukan dengan membuat benda uji berupa silinder beton sesuai dengan Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI) 1971 [7].

Pada pekerjaan ini beton *Box Culvert* akan dikirim ke lokasi pemasangan apabila beton *Box Culvert* sudah mencapai umur perawatan (kurang lebih 7 hari) dan hasil pengujian kuat tekan beton sudah mencapai lebih dari  $400 \text{ kg/cm}^2$ .



Gambar 7. Benda Uji Box Culvert Joint Pit (Sumber: PLN)

### 3.3 Analisis Kekuatan Umur Beton

Beton akan mengalami pengerasan secara sempurna setelah umur beton mencapai 28 hari. Pada hari – hari sebelumnya, beton tersebut mempunyai kuat tekan beton yang berbeda – beda [7]. Perbandingan kuat tekan beton pada berbagai umur beton dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Perbandingan Kekuatan Tekan Beton Pada Berbagai- Bagai Umur [7].

Umur Beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
Semen <i>Portland</i> biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20	1,35

Apabila dilakukan interpolasi pada variabel umur beton, maka faktor konversi umur beton dari umur 1 hari sampai dengan 28 hari adalah seperti pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Faktor Konversi Umur Beton

Umur (Hari)	Faktor Konversi	Umur (Hari)	Faktor Konversi
1	0,231	15	0,896
2	0,319	16	0,909
3	0,400	17	0,921
4	0,473	18	0,930
5	0,539	19	0,938
6	0,598	20	0,945
7	0,651	21	0,951
8	0,698	22	0,956
9	0,740	23	0,961
10	0,776	24	0,967
11	0,808	25	0,973
12	0,836	26	0,980
13	0,859	27	0,989
14	0,879	28	1

Studi ini menggunakan beton dengan mutu K-500 pada konstruksi *Joint Pit*, sehingga kuat tekan beton yang dihasilkan adalah 200 kg/cm<sup>2</sup> pada umur 3 hari (500 kg/cm<sup>2</sup> x faktor konversi 0,400), 439,5 kg/cm<sup>2</sup> pada umur 14 hari (500 kg/cm<sup>2</sup> x faktor konversi 0,879), 475,5 kg/cm<sup>2</sup> pada umur 21 hari (500 kg/cm<sup>2</sup> x faktor konversi 0,951), dan 500 kg/cm<sup>2</sup> pada umur 28 hari (500 kg/cm<sup>2</sup> x faktor konversi 1).

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Pengujian sampel beton *Joint Pit* dilakukan pada periode Maret – April 2020 di Laboratorium Kementerian PUPR Kota Kotamobagu. Dalam penelitian ini sampel beton *Joint Pit* proyek SKTT 150 kV Sario – Teling yang diambil adalah di 5 JP, yaitu pada bagian *Box Culvert* (BC) ukuran 2.000 cm, *Box Culvert* ukuran 800 cm, *Frame manhole*, *Dop Box Culvert*, dan *Cover manhole* di lokasi *Joint Pit* JP 3, JP 4, JP 5, JP 6, dan JP 7.

Jumlah rata-rata pengambilan sampel beton yang dilakukan untuk satu kali pengujian adalah sebanyak 6 buah sampel, kemudian dicari rata-rata hasilnya dan dibandingkan dengan kuat tekan beton pada umur tertentu menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI) 1971 [7].

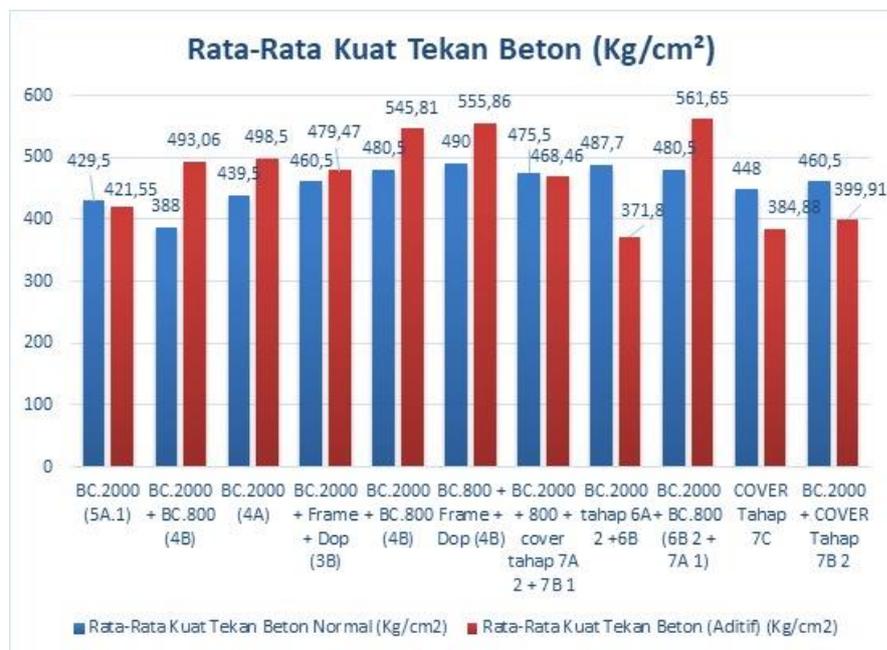
Menurut PBI 1971 dianjurkan membuat sampel beton minimum 20 buah, namun jika jumlah sampel beton tidak ditentukan maka hasil – hasil pemeriksaan sampel beton harus dievaluasi sehingga peramalan dari kekuatan beton dan / atau deviasi standar dapat dilakukan dengan derajat kepastian yang cukup. Dan apabila karena alasan – alasan tertentu pembuatan 20 buah sampel beton dianggap tidak praktis atau tidak dapat dilakukan, maka jumlah sampel beton yang dibuat boleh kurang dari 20 buah, asal pembuatannya dilakukan dengan interval jumlah pengecoran yang kira – kira sama [7].

Tabel 6 merupakan hasil rata – rata pengujian kuat tekan beton yang menggunakan zat aditif. Dapat dilihat pada tabel 6 bahwa terjadi peningkatan kuat tekan beton sebesar 1,04% sampai dengan 1,27% yaitu pada BC.2000+BC.800 (4B), BC.2000 (4A), BC.2000+*Frame*+*Dop* (3B), BC.2000+BC.800 (4B), BC.800+*Frame*+*Dop* (4B), dan BC.2000+BC.800 (6B 2+7A 1). Sedangkan hasil negatif terjadi pada BC.2000 (5A.1), BC.2000+800+*Cover* Tahap 7A 2+7B 1, BC.2000 Tahap 6A 2 +6B, *Cover* Tahap 7C, dan BC.2000+*Cover* Tahap 7B 2 yang mengalami penurunan sebesar 0,76% sampai dengan 0,98%.

**Tabel 6.** Rata- Rata Kuat Tekan Beton Yang Ditambahkan Zat Aditif (Sumber: Hasil Pengujian PLN di Laboratorium Kementerian PUPR)

Jenis Konstruksi	Jumlah Sampel (buah)	Umur Sampel Beton (hari)	Rata-Rata Kuat Tekan Beton (penambahan aditif) (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Beton Normal (Koefisien Umur Beton sesuai dengan perbandingan di PBI 1971) (Kg/cm <sup>2</sup> )	% Pengaruh Aditif (Mutu Beton K-500)	Hasil
BC.2000 (5A.1)	3	13	421,55	429,50	0,98	↓
BC.2000+BC.800 (4B)	6	10	493,06	388,00	1,27	↑
BC.2000 (4A)	6	14	498,50	439,50	1,13	↑
BC.2000+Frame+ Dop (3B)	6	17	479,47	460,50	1,04	↑
BC.2000+BC.800 (4B)	6	23	545,81	480,50	1,13	↑
BC.800+Frame+ Dop (4B)	6	26	555,86	490,00	1,13	↑
BC.2000+800+Cover Tahap 7A 2 +7B 1	6	21	468,46	475,50	0,98	↓
BC.2000 Tahap 6A 2 +6B	6	25	371,80	487,70	0,76	↓
BC.2000+BC.800 (6B 2 +7A 1) cover Tahap 7C	6	15	384,88	448,00	0,85	↓
BC.2000+Cover Tahap 7B 2	6	17	399,92	460,50	0,86	↓

Pada Tabel 6. dan Gambar 6., terdapat beberapa item jenis konstruksi yang sudah mencapai >500 kg/cm<sup>2</sup> pada umur beton <28 hari (umur 23 dan 26 hari), yaitu BC.2000 + BC.800 (4B), BC.800 + Frame + Dop (4B), dan BC.2000 + BC.800 (6B 2 + 7A 1). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa penambahan zat aditif ini dapat meningkatkan kuat tekan beton dan mempercepat pengerasan. Namun, seperti dapat dilihat pada tabel di atas, terjadi penurunan kuat tekan beton di beberapa titik. Hal ini disebabkan karena beberapa hal diantaranya ketidakcocokan zat aditif dengan *raw material*, komposisi campuran yang tidak sesuai, proses pembuatan campuran yang tidak optimal, dan tidak memadainya proses perawatan beton di lapangan. Walaupun terjadi penurunan kuat tekan beton, hasil akhir kuat tekan beton masih berada di atas batas minimal kuat tekan beton yang ditentukan oleh PLN yaitu 400 kg/cm<sup>2</sup>.

**Gambar 8.** Perbandingan Kuat Tekan Beton Dengan Tambahkan Zat Aditif dan Kuat Tekan Beton Normal

Mutu beton dianggap memenuhi syarat, apabila nilai rata-rata dari setiap 4 hasil pemeriksaan benda uji berturut-turut adalah lebih besar dari ( $\bar{\alpha}_{bk} + 0,82 \text{ sr}$ ), dimana  $\bar{\alpha}_{bk}$  adalah kekuatan tekan beton karakteristik yang disyaratkan dan sr adalah deviasi standar rencana [7].

Dimana deviasi standar menurut PBI 1971 adalah seperti tabel 7 berikut:

**Tabel 7.** Mutu Pelaksanaan Diukur Dengan Deviasi Standar [7].

Isi Pekerjaan		Deviasi Standar $s$ (kg/cm <sup>2</sup> )		
Sebutan	Jumlah Beton	Baik Sekali	Baik	Dapat Diterima
Kecil	<1.000	$45 < s \leq 55$	$55 < s \leq 65$	$65 < s \leq 85$
Sedang	1.000 – 3.000	$35 < s \leq 45$	$45 < s \leq 55$	$55 < s \leq 75$
Besar	>3.000	$25 < s \leq 35$	$35 < s \leq 45$	$45 < s \leq 65$

Tabel 8 merupakan hasil pengecekan mutu beton *Joint Pit* proyek SKTT 150 kV Sario–Teling adalah dengan asumsi sampel benda uji <20 buah, dengan jumlah pengecoran beton <1.000 m<sup>3</sup>, dan deviasi standar yang dipilih adalah 50.

**Tabel 8.** Pengecekan Mutu Pelaksanaan Beton *Joint Pit* SKTT 150 kV Sario – Teling.

Bagian Konstruksi	Umur Beton (hari)	Koefisien Konversi Umur Beton	Rata-rata Kuat Tekan 4 Buah Sampel Beton (Aditif) (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Beton Normal (Koefisien Umur Beton sesuai dengan perbandingan di PBI 1971) (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Beton + Deviasi			Hasil
					$\bar{\alpha}_{bk}$	0,82 sr	$\bar{\alpha}_{bk} + 0,82 \text{ sr}$	
BC.2000 (5A.1)	13	0,859	421,55	429,50	429,50	41	470,50	Memenuhi batas minimal yang ditetapkan PLN (K-400)
BC.2000 + BC.800 (4B)	10	0,776	493,06	388,00	388,00	41	429,00	Memenuhi K-500
BC.2000 (4A)	14	0,879	498,50	439,50	439,50	41	480,50	Memenuhi K-500
BC.2000 + Frame + Dop (3B)	17	0,921	539,48	460,50	460,50	41	501,50	Memenuhi K-500
BC.2000 + BC.800 (4B)	23	0,961	545,81	480,50	480,50	41	521,50	Memenuhi K-500
BC.800 + Frame + Dop (4B)	26	0,98	555,86	490,00	490,00	41	531,00	Memenuhi K-500
BC.2000 + 800 + cover tahap 7A 2 + 7B 1	21	0,951	498,97	475,50	475,50	41	516,50	Memenuhi batas minimal yang ditetapkan PLN (K-400)
BC.2000 tahap 6A 2 + 6B	25	0,973	404,90	487,67	487,67	41	528,67	Memenuhi batas minimal yang ditetapkan PLN (K-400)
BC.2000 + BC.800 (6B 2 + 7A 1)	23	0,961	561,65	480,50	480,50	41	521,50	Memenuhi K-500
COVER Tahap 7C	15	0,896	410,41	448,00	448,00	41	489,00	Memenuhi batas minimal yang ditetapkan PLN (K-400)
BC.2000 + COVER Tahap 7B 2	17	0,921	436,78	460,50	460,50	41	501,50	Memenuhi batas minimal yang ditetapkan PLN (K-400)

Dari hasil pengecekan mutu pelaksanaan beton diketahui bahwa konstruksi *Box Culvert* untuk BC.2000+BC.800 (4B), BC.2000 (4A), BC.2000+Frame+Dop (3B), BC.2000+BC.800 (4B), BC.800+Frame+Dop (4B), dan BC.2000+BC.800 (6B 2+7A 1) telah memenuhi syarat mutu beton K-500. Sedangkan untuk BC.2000 (5A.1), BC.2000+800+Cover Tahap 7A 2+7B 1, BC.2000 Tahap 6A 2+6B, Cover Tahap 7C, dan BC.2000+Cover Tahap 7B 2 masih memenuhi batas minimal yang ditetapkan oleh PLN yaitu K-400.

## 5. Kesimpulan

Dari analisis dan simulasi yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa penambahan zat aditif Sikament LN dan Plastimen VZ dapat meningkatkan kuat tekan beton pada beberapa titik pengecoran beton *Joint Pit* antara lain pada bagian konstruksi BC.2000+BC.800 (4B), BC.2000 (4A), BC.2000+Frame+Dop (3B), BC.2000+BC.800 (4B), BC.800+Frame+Dop (4B), dan BC.2000+BC.800 (6B 2 +7A 1). Selain itu, penambahan zat aditif juga dapat

mempercepat durasi kekuatan umur beton yang diharapkan bernilai 500 kg/cm<sup>2</sup> pada umur 28 hari, dapat dipersingkat menjadi kurang dari 28 hari yaitu pada BC.2000+Frame+Dop (3B) dengan periode 17 hari, BC.2000+BC.800 (4B) dengan periode 23 hari, BC.2000+Frame+Dop (3B) dengan periode 26 hari, dan BC.2000+BC.800 (6B 2+7A 1) dengan periode 23 hari. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa penambahan zat aditif ini dapat mempercepat tahapan konstruksi *Joint Pit* dan akan membuat penyelesaian proyek SKTT 150 kV Sario – Teling menjadi lebih cepat.

Adapun saran untuk penyempurnaan studi ini adalah perlu dilakukan pengecekan lebih lanjut pada beberapa mutu beton dengan nilai 400 kg/cm<sup>2</sup> sampai 500 kg/cm<sup>2</sup> berupa pengujian non destruktif (minimal ekivalen 70% dari nilai kekuatan beton yang disyaratkan) agar dapat mengetahui efektifnya keseluruhan penggunaan zat aditif Sikament LN dan Plastimen VZ pada beton *Joint Pit* SKTT 150 kV Sario – Teling. Jika penambahan zat aditif dilakukan dengan menggunakan campuran yang tidak proporsional dan tidak diawasi pekerjaannya dengan baik, maka kuat tekan beton hasil pencampuran menjadi kontraproduktif sehingga lebih kecil dibandingkan kondisi awal.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT PLN (Persero) yang telah mendukung pelaksanaan penelitian ini.

### Daftar Pustaka

- [1] Bidang Anev Operasi Sistem, 2020, “*Evaluasi Operasi Tahunan Sistem Sulawesi 2019*,” PT PLN (Persero) Unit Induk Pembangkitan dan Penyaluran Sulawesi.
- [2] Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT PLN (Persero) 2019 – 2028.
- [3] Ekolu, S., Ikotun, B.D., 2010, “*Strength and Durability Effect of Modified Zeolite Additive on Concrete Properties*,” School of Civil and Environmental Engineering, University of the Witwatersrand, Private Bag X3, WITS 2050, Johannesburg, South Africa.
- [4] Agrawal, T.P., Marthong, C., 2012, “*Effect of Fly ash Additive on Concrete Properties*,” Civil Engineering Department, Shillong Polytechnic, Shillong Meghalaya, India, 793008. Civil Engineering Department, Institute of Technology (BHU)-Varanasi, Uttar Pradesh, India, 221005.
- [5] Ahmed, Z., Bos, F., Salet, T., Wolfs, R., 2016, “*Additive Manufacturing of Concrete In Construction: Potentials and Challenges of 3D Concrete Printing*”, Virtual and Physical Prototyping, 11(3): 209-225.
- [6] Hasan, H., Maricar, S., Tatong, B., “*Pengaruh Bahan Tambah Plastiment-VZ Terhadap Sifat Beton*,” Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu.
- [7] Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI), 1971.
- [8] SNI 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung
- [9] *Approval Drawing Report* untuk Pembangunan SKTT 150 kV GIS Sario – GIS Teling, 2019, PLN.
- [10] Hutama, D.A., Nursandah, A., Utomo, S., 2018, “*Pengaruh Penambahan Bahan Admixture Consol SG Terhadap Kuat Tekan Beton*,” Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya.
- [11] Pradewa, G.B., Elvira, Herwani, 2010, “*Studi Eksperimental Proporsi Campuran Ferrosemen Untuk Pelat Fondasi Kedap Air*,” Teknik Sipil Untan.
- [12] Lyalzo, E.A., Warman, H., Khadavi, “*Analisa Penambahan Zat Additive Sikament LN Terhadap Kuat Tekan Beton Normal*,” Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Bung Hatta Padang.
- [13] Samuel, T., Ariaratnam, Bruce, C., Harbin, Richard, L., Stauber, 2007, “*Modeling of Annular Fluid Pressures In Horizontal Boring*,” Ira A. Fulton School of Engineering, Arizona State University, United States.
- [14] Kartini, W., 2007, “*Penggunaan Serat Polypropylene Untuk Meningkatkan Kuat Tarik Belah Beton*,” Teknik Sipil – UPN “Veteran” Jatim.
- [15] Product Data Sheet Sikament LN, 2016, PT Sika Indonesia, Bogor, Indonesia.
- [16] Frederika, A., Widhiawati, I.A.R., 2017, “*Analisis Produktivitas Metode Pelaksanaan Pengecoran Beton Ready mix Pada Balok dan Pelat Lantai Gedung*,” Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar.
- [17] Adiasa, A.M., Prakosa, D.K., Hatmoko, J.U.D., Santoso, T.D., 2015, “*Evaluasi Penggunaan Beton Precast Di Proyek Konstruksi*,” Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang.